Acest al II-lea volum al Manualului inginerului de mine cuprinde următoarele secţiuni:

X. Prospecţiunea (geologică, geofizică, geochimică); XI. Explorarea zăcămintelor de substanţe minerale utile (prin lucrări miniere, foraje şi combinat); XII. Probarea zăcămintelor de substanţe minerale utile; XIII. Carotajul geofizic; XIV. Evaluarea rezervelor zăcămintelor de substanţe minerale utile; XV. Topografie minieră şi fotogrammetrie terestră; XVI. Mecanica rocilor.

Se adresează cadrelor tehnice (ingineri, geologi, subingineri tehnicieni, maiştri) care activează în domeniile cercetării geologice (prospecţiuni şi exploatări), explaotării şi preparării snbstanţelor minerale utile solide, constituind totodată un material ajutător pentru studenţii facultăţilor de mine şi geologie.

MANUALUL INGINERULUI DE MINE

* *

Coordonator:

Dr. docent ing. **ARON POPA**

Profesor universitar emerit

173966
B.C.U. - IASI

EDITURA TEHNICĂ
Bucureşti — 1985

Colectivul de autori:

Prof. dr. docent, ing. **RADU BOTEZATU**
Membru corespondent al Academiei R.S. România
Prof. dr. docent, ing. **ARON POPA**
Prof. dr. docent **GRATIAN CIOFLICA**
Prof. dr. ing. **NICOLAE DIMA**
Conf. dr. ing. **CORNEL HIRIAN**
Conf. dr. ing. **GHEORGHE ONCIOIU**
Şef lucrări, dr. ing. **AURELIAN NEGUŢ**
Şef lucrări, dr. ing. **IONIŢĂ PĂDURE**
Şef lucrări, dr. ing. **ADRIAN TODORESCU**
Şef lucrări ing. **STANCA NICULESCU**
Lector dr. **OVIDIU DRAGASTAN**
Lector dr. **IOAN MĂLDĂRESCU**
Lector **IOSIF DRĂGHICI**
Dr. ing. **IULIU SILAŞ**
Ing. **VIOREL VIERESCU**
Ing. **FILOMENOS SAVIN**
Ing. **VIOREL BRÂNDA**

I. 43.213
Biblioteca de Geologie-Geografie
T. III-12110

Redactor: ing. MARIANA CHEPTEA
Tehnoredactor: ELLY GORUN
Coperta: ŞTEFAN PÂRÂU

Bun de tipar: 6.09.1985 Coli de tipar: 48,5 C.Z.: 622(039)

I. P. Informaţia str. Brezoianu nr. 23–25

Cuprins

X PROSPECŢIUNEA

1. *Prospecţiunea geologică* 13
1.1. Premise geologice fundamentale . . . 13
1.1.1. Premise structurale 14
1.1.2. Premise magmatice 17
1.1.3. Premise lito-stratigrafice . . . 22
1.1.4. Premise paleogeografice . . . 23
1.1.5. Premise metamorfice 25
1.1.6. Premise geochimice 26
1.2. Indicatori în prospecţiunea geologică 29
1.2.1. Indicatori naturali 29
1.2.2. Indicatori proveniţi din alte surse 36
1.3. Metode geologice de prospecţiune . . . 40
1.3.1. Prospecţiunea prin cartare geologică în deschideri naturale şi artificiale 40
1.3.2. Prospecţiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile 42
1.3.3. Prospecţiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale utile 43

2. *Prospecţiunea geofizică* 46
2.1. Posibilităţi şi limitări fizice, geologice şi economice ale utilizării prospecţiunilor geofizice 49
2.2. Complexul de metode geofizice specific problemelor de geologie minieră . . . 59
2.2.1. Prospecţiunea geomagnetică . . 59
2.2.2. Prospecţiunea gravimetrică . . 61
2.2.3. Prospecţiunea electrometrică . . 63
2.2.4. Prospecţiunea radiometrică . . 68
2.2.5. Prospecţiunea seismometrică . . 68
2.2.6. Prospecţiunea geotermică . . 71
2.2.7. Teledetecţia 72
2.2.8. Cercetări geofizice în subteran . 73
2.3. Interpretarea geologică a informaţiilor geofizice condiţionate de acumulările de substanţe minerale solide 75
2.3.1. Mineralizaţii de metale feroase 76
2.3.2. Mineralizaţii de metale neferoase 80
2.3.3. Mineralizaţii auro-argentifere . 86
2.3.4. Mineralizaţii de elemente radioactive, rare şi disperse 88
2.3.5. Acumulări de substanţe nemetalifere şi roci utile 90
2.3.6. Zăcăminte de cărbuni şi roci combustibile 92
2.3.7. Zăcăminte de sare şi săruri de potasiu şi magneziu 93

3. *Prospecţiunea geochimică* 95
3.1. Prospecţiunea litogeochimică 96
3.2. Prospecţiunea pedogeochimică . . . 97
3.3. Prospecţiunea hidrogeochimică . . . 100
3.4. Prospecţiunea atmogeochimică . . . 101
3.5. Prospecţiunea biogeochimică . . . 102

XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANŢE MINERALE UTILE

1. *Obiectivele şi clasificarea explorări; întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare* . . 114
1.1. Obiectivele explorării 114
1.2. Clasificarea lucrărilor de explorare . . 114
1.3. Întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare 117

2. *Explorarea prin lucrări miniere* 118
2.1. Criterii de proiectare a lucrărilor miniere de explorare 118
2.2. Tipuri şi secţiuni de lucrări miniere de explorare 119
2.2.1. Şanţuri şi tranşee de explorare . 122
2.2.2. Puţuri de mînă (şurfuri) . . . 129
2.2.3. Puţuri de explorare 137
2.2.4. Galerii de explorare 141
2.2.5. Plane înclinate de explorare . . 159
2.2.6. Suitori şi coborîtori de explorare 161

3. *Explorarea prin foraje* 163
3.1. Condiţii de aplicare a forajului în explorarea zăcămintelor 163
3.2. Date generale asupra forajului . . . 165
3.3. Săparea găurii de sondă. Sape şi carotiere 166
3.3.1. Sape folosite în forajul cu sondeze 166
3.3.2. Carotiere folosite în forajul cu sondeze 173
3.3.3. Coroane sau capete de carotieră 177
3.4. Spălarea găurii de sondă. Fluidul de foraj 190

3.4.1. Rolul și proprietățile fluidului de foraj 190
3.4.2. Prepararea noroiului de foraj 196
3.4.3. Curățirea noroiului de foraj, stabilirea debitului și presiunii de circuiație 199
3.5. Operații de manevră și material tubular 200
3.5.1. Prăjini de foraj 200
3.5.2. Scule și dispozitive de manevră pentru prăjini și burlane . . . 210
3.6. Tubarea și cimentarea găurilor de sondă 220
3.6.1. Tubarea 220
3.6.2. Cimentarea 224
3.7. Dificultăți și accidente în forajul cu sondeze 226
3.7.1. Devierea găurilor de sondă . . 226
3.7.2. Pierderi de circulație 229
3.7.3. Accidente de foraj 230
3.8. Instalații de foraj — sondeze mecanice 238
3.8.1. Instalații pentru foraj de explorare fabricate în România . . 240
3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M 240
3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150 244
3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8 246
4.8.1.4. Instalația de foraj FG-5 249
3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M 252
3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D 254
3.8.2. Alte tipuri de instalații de foraj 256
3.8.2.1. Instalația de foraj . . SBA-500 . . . 256
3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM 258
3.8.2.3. Instaația de foraj AVB-TM 259
3.8.2.4. Instalația de foraj BSK 260
3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200 261
3.8.2.6. Instalația de foraj GP-1 pentru subteran . . . 262
3.8.2.7. Instalația de foraj DIAMEC-250 262
3.8.2.8. Instalația de foraj hongyer 34 264
3.0. Instalații de suprafață și anexe . . . 264
3.10. Indicatori tehnico-economici în activitatea de foraj 267
3.11 Documentarea geologică a forajelor de de explorare 269

4. *Explorarea zăcămintelor după natura substanței minerale utile* 272

4.1. Explorarea zăcămintelor de minereuri 272
4.1.1. Explorarea zăcămintelor de fier și de mangan 273
4.1.2. Explorarea zăcămintelor de plumb și zinc 274
4.1.3. Explorarea zăcămintelor de cupru 275
4.1.4. Explorarea zăcămintelor de aur și argint 276
4.1.5. Explorarea zăcămintelor de pirită și de aluminiu 277
4.1.6. Explorarea zăcămintelor de metale rare 278
4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente . . 278
4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale . . . 281
4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive 283
4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa paltinei 283
4.2. Explorarea zăcămintelor de cărbuni 283
4.2.1. Clasificarea zăcămintelor de cărbuni din punctul de vedere al explorării 284
4.2.2. Caracteristicile generale ale explorării zăcămintelor de cărbuni 284
4.2.3. Fazele și specificul explorării zăcămintelor de cărbuni . . . 285
4.2.4. Exemple de explorare a zăcămintelor de cărbuni 286
4.3. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile nemetalifere și de roci utile 289
4.3.1. Explorarea zăcămintelor de gips și anhidrit 290
4.3.2. Explorarea zăcămintelor de sare gemă și de săruri de potasiu . . 291
4.3.3. Explorarea zăcămintelor de fosforite 293
4.3.4. Explorarea zăcămintelor de calcită, celestină, baritină și fluorină 293
4.3.5. Explorarea zăcămintelor de feldspat, mică și cuarț 294
4.3.6. Explorarea zăcămintelor de serpentină, talc și magnezit . . 295
4.3.7. Explorarea zăcămintelor de disten, andaluzit și sillimanit . 296
4.3.8. Explorarea zăcămintelor de azbest și corindon 296
4.3.9. Explorarea rocilor carbonatice (calcare, dolomite, magnezite) . 297
4.3.10. Explorarea silicaților aluminoși 298
4.3.11. Explorarea marnelor . . . 299
4.3.12. Explorarea rocilor silicioase 299
4.3.13. Explorarea nisipurilor și pietrișurilor (agregatelor) 300
4.3.14. Explorarea rocilor de construcții 301

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

1. *Principii de bază* 304
1.1. Condițiile unei probări corecte a zăcămintelor de substanțe minerale utile . 304
1.1.1. Obiectivitatea și reprezentativitatea probării 305
1.1.2. Operativitatea și productivitatea probării 306
2. *Tipurile principale de probare utilizate în lucrările de explorare* 306
2.1. Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice (probarea minerologică) 307

2.2. Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice 310
2.3. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnice 319
2.4. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnologice 321

3. *Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu lucrări miniere* 324

3.1. Probarea în șanțuri și tranșee de explorare 324
3.2. Probarea în puțuri de mină, puțuri de explorare, suitori și coboritori . . . 327
3.3. Probarea în galerii și plane inclinate 331

4. *Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu foraje* 337

4.1. Probarea în cazul explorării prin foraje cu carotaj mecanic 338
4.2. Probarea în cazul folosirii în explorare a forajului mecanic percutant 343
4.3. Probarea în cazul folosirii forajului manual, semimecanic, rotativ și rotativ-percutant în explorarea geologică 344

5. *Prelucrarea probelor geologice pentru determinarea conținutului în componenți utili și dăunători* 345

XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC

1. *Principiile de bază ale metodelor de carotaj geofizic aplicate în geologia minieră* 351

1.1. Carotajul de rezistivitate aparentă 351
1.1.1. Carotajul obișnuit (standard) . . 352
1.1.2. Carotajul cu curenți focalizați 353
1.1.3. Carotajul inductiv 353
1.1.4. Metoda carotajului de curent 354
1.1.5. Carotajul electric cu microdispozitive sau microcarotajul . . 355
1.1.6. Electrometrie de sondă în curent continuu 355
1.2. Carotajul potențialelor naturale sau spontane 357
1.3. Carotajul potențialelor provocate . . 358
1.4. Carotajul radioactiv 358
1.4.1. Carotajul radiației gama naturale 358
1.4.2. Carotajul radiației gama dispersate 359
1.4.3. Carotajul neutron-gama 360
1.4.4. Carotajul neutron-neutronic . 361
1.4.5. Carotajul fotoneutronic 362
1.4.6. Carotajul activării neutronice 362
1.4.7. Carotajul fluorescenței X . . 363
1.4.8. Spectrometria radiațiilor gama în carotaj 364
1.5. Carotajul acustic 364
1.6. Carotajul magnetic 365
1.7. Cavernometria 366

2. *Aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea zăcămintelor de substanțe minerale utile solide* 367

2.1. Mineralizații de metale feroase . . . 367
2.2. Mineralizații de metale neferoase și auro-argentifere 373
2.3. Mineralizații de elemente radioactive, rare și disperse 374
2.4. Acumulări de substanțe nemetalifere și roci utile 376
2.5. Cărbuni și roci combustibile 379
2.5.1. Cărbuni 379
2.5.2. Șisturi bituminoase 386

XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

1. *Principii generale* 390

2. *Clasificarea rezervelor geologice* 391

2.1. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de cunoaștere 391
2.2. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de pregătire 394
2.3. Clasificarea rezervelor geologice după posibilitățile de valorificare 394
2.3.1. Condiții industriale ale zăcămintelor 394

3. *Parametrii de calcul al rezervelor* 396

3.1. Parametrii pentru calculul cantitativ al rezervelor 396
3.2. Stabilirea caracteristicilor calitative ale rezervelor 398
3.3. Stabilirea condițiilor de zăcământ . . 403

4. *Metode de calcul al rezervelor* 405
4.1. Metoda blocurilor geologice 406
4.2. Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare 409
4.3. Metoda secțiunilor 415
4.4. Metoda poligoanelor 421
4.5. Metoda triunghiurilor 422

5. *Metode statistice-matematice și geostatistice în estimarea parametrilor de calcul al rezervelor* 424
5.1. Metode statistice-matematice . . . 424
5.1.1. Stabilirea valorii medii a parametrilor de calcul ținînd seama de legea de distribuție statistică a acestora 424
5.1.2. Utilizarea analizei de corelație în estimarea conținutului rezervelor 426
5.2. Metoda geostatistică 427
5.2.1. Funcțiile semivariogramă și covariogramă 428
5.2.2. Variabile regionalizate staționare. Principalele caracteristici ale mineralizației puse în evidență de semivariogramă 428
5.2.3. Calculul semivariogramei experimentale 430
5.2.4. Modelarea semivariogramei experimentale 432
5.2.4.1. Mineralizații izotrope. . 433
5.2.4.2. Mineralizații anizotrope 436
5.2.5. Metoda Krige. Determinarea estimatorului optim și a variantei erorii de estimare 438

5.2.6. Intervalul de încredere al cantităţii şi calităţii rezervelor. Gradul de precizie al valorilor estimate 439

XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ŞI FOTOGRAMMETRIE

1. *Teoria erorilor de măsurare* 445
1.1. Clasificarea măsurătorilor 445
1.2. Măsurători directe de aceeaşi precizie 446
1.3. Măsurători directe de precizii diferite 447
1.4. Măsurători indirecte de aceeaşi precizie 448
1.5. Măsurători indirecte de precizii diferite 452
1.6. Măsurători condiţionate de aceeaşi precizie 452
1.7. Măsurători condiţionate de precizii diferite 453
2. *Măsurarea mărimilor topografice* 454
1.2. Măsurarea unghiurilor 454
2.1.1. Instrumente de măsurarea unghiurilor 454
2.1.2. Metode de măsurare a unghiurilor orizontale 455
2.1.3. Măsurarea unghiurilor verticale 456
2.2. Măsurarea directă a distanţelor . . . 456
2.2.1. Instrumente pentru măsurarea directă a distanţelor 456
2.2.2. Măsurarea directă a lungimilor cu panglica 457
2.2.3. Corecţii aplicate lungimilor măsurate cu benzi de oţel . . 458
2.3. Măsurarea indirectă a distanţelor 459
2.3.1. Metoda optică 459
2.3.2. Măsurarea electrooptică şi electromagnetică a distanţelor . . 460
2.4. Instrumente de măsurare directă a înălţimilor 461
2.4.1. Instrumente de nivelment geometric cu lunetă 461
2.4.2. Instrumente de nivelment cu compensator 462
3. *Lucrări topografice la suprafaţă* 462
3.1. Elemente de geodezie şi cartografie 462
3.1.1. Forma şi dimensiunile Pămîntului 462
3.1.2. Suprafeţe de referinţă 463
3.1.3. Coordonate plane Gauss-Krüger 464
3.1.4. Coordonate plane stereografice 466
3.2. Triangulaţia 467
3.2.1. Reţeaua triangulaţiei de stat . 467
3.2.2. Realizarea reţelei triangulaţiei de stat 467
3.2.3. Importanţa şi caracterul reţelei de triangulaţie 468
3.2.4. Verificarea reţelelor de triangulaţie 469
3.2.5. Dezvoltarea reţelelor de triangulaţie 472
3.3. Trilateraţia 476
3.3.1. Compensarea laturilor în reţelele de triateraţie 476
3.3.2. Calculul coordonatelor în reţelele de trilateraţie 478
3.3.3. Dezvoltarea reţelelor de trilateraţie 479
3.4. Poligonometria 480
3.4.1. Realizarea traseelor şi reţelelor poligeometrice 480
3.4.2. Condiţii de aplicare. Avantaje şi dezavantaje 481
3.4.3. Rezolvarea traseelor şi reţelelor poligonometrice 481
3.5. Nivelment 483
3.5.1. Suprafaţă de nivel zero. Suprafeţe de nivel. Altitudini 483
3.5.2. Corecţii de nivelment . . . 484
3.5.3. Felurile nivelmentului . . . 484
4. *Lucrări de topografie minieră* 485
4.1. Planimetrie subterană 485
4.1.1. Transmiteri de coordonate şi orientări în subteran 485
4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă 486
4.1.1.2. Legătura pe două puţuri verticale de mină . . . 487
4.1.1.3. Legătura pe un singur puţ vertical de mină . . 488
4.1.2. Proiectarea coordonatelor şi orientării pe lucrări miniere verticale 492
4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor 493
4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării 495
4.1.3. Drumuiri planimetrice subterane 497
4.1.1.3 Poligonaţia cu două capete 497
4.1.3.2. Poligonaţia cu cap de sprijin şi un punct de închidere 500
4.1.3.3. Poligonaţia minieră . 500
4.1.3.4. Poligonaţia flotantă . 503
4.1.3.5. Reţea planimetrică nodală 506
4.1.3.6. Reţea planimetrică acolată 508
4.2. Nivelment subteran 512
4.2.1. Transmiterea cotelor în subteran 512
4.2.2. Metode de nivelment subteran 515
4.2.3. Trasee nivelitice subterane . . 517
4.3. Ridicarea de detalii subterane . . . 523
4.3.1. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale 523
4.3.2. Ridicarea de detalii în lucrări minier verticale 524
4.3.3. Recepţia şi evidenţa lucrărilor miniere în săpare 527
4.3.4. Recepţia şi evidenţa producţiei realizate în abataje 528
4.3.5. Evaluarea producţiei realizate în cariere 530
4.4. Străpungeri miniere 532
4.4.1. Străpungerea între două puncte topografice 532
4.4.2. Racordarea aliniamentelor . . 535
4.4.3. Probleme de topografie minieră 538
4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie 539
4.4.3.2. Intersecţia dintre o galerie şi un zăcămînt 540
4.4.3.3. Intersecţia dintre o falie şi un zăcămînt 542
4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute 544

4.5. Studiul comportării suprafeţei sub influenţa spaţiului subteran exploatat 545
4.5.1. Constituirea staţiilor topografice de urmărire 545
4.5.2. Efectuarea măsurătorilor . . . 547
4.5.3. Interpretarea rezultatelor măsurătorilor 548

5. *Fotogrammetrie terestră* 550

5.1. Definiţia şi scopul fotogrammetriei terestre 550
5.2. Baza geometrică a fotogramelor . . 551
5.2.1. Fotograma ca proiecţie centrală 551
5.2.2. Elementele proiecţiei centrale 552
5.2.3. Sisteme de coordonate utilizate în fotogrammetrie 553
5.2.4. Elementele de orientare a fotogramelor 554
5.2.5. Relaţiile analitice ale fotogrammetriei terestre 555

5.3. Vederea stereoscopică 557
5.3.1. Vederea bioculară naturală . 557
5.3.2. Vederea stereoscopică artificială 558
5.4. Aparatura de fotografiere 561
5.5. Metodele fotogrammetriei terestre 568
5.5.1. Fotogrammetria cu o imagine 568
5.5.2. Fotogrammetria cu două imagini 571
5.5.3. Fotogrammetria paralactică cu baza timp 576
5.6. Aparate de restituţie folosite în fotogrammetria terestră 577
5.6.1. Aparate de restituţie analogică 577
5.6.2. Aparate de restituţie numerică 579
5.6.3. Aparate de restituţie analitică 579
5.6.4. Aparatecu proiecţie fotografică 580
5.7. Erori în determinarea coordonatelor punctelor spaţiale 580
5.7.1. Determinarea erorilor 580
5.7.2. Corectarea erorilor 581
5.7.3. Transcalcularea coordonatelor spaţiale XY în sistemul geodezic $\overline{Y,X}$ 581
5.8 Lucrări de teren în fotogrammetria terestră 583
5.8.1. Stabilirea punctelor de staţie şi a bazelor fotogrammetrice 584
5.8.2. Reperajul fotogrammetric . . 585
5.8.3. Legarea punctelor de capăt ale bazei fotogrammetrice şi a punctelor de control la reţeaua geodezică 586
5.9 Rezolvarea unor probleme topografice prin metode fotogrammetrice 587
5.9.1. Măsurarea volumelor excavate în cariere 587
5.9.2. Măsurarea depozitelor de steril 591
5.9.3. Măsurarea albiilor de scufundare 592
5.9.4. Măsurători în subteran . . 592

XVI. MECANICA ROCILOR

1. *Bazele teoretice ale mecanicii rocilor* 596
1.1. Definiţii şi concepte de bază . . . 596
1.1.1. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale analitică . . 597
1.1.2. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale grafică . 600
1.2. Elemente de teoria tensiunilor şi a deformţiilor în medii elastice 600
1.3. Plasticitatea. Elemente de teoria tensiunilor şi a deformaţiilor în medii plastice. Condiţii de plasticitate 601
1.4. Mecanismul de rezistenţă şi fracturare a rocilor şi substanţelor minerale utile. Ipoteze de rupere 603
2. *Metode experimentale pentru caracterizarea rocilor şi substanţelor minerale utile* 611
2.1. Recoltarea şi prelevarea probelor de roci 611
2.2. Caracteristici fizice 612
2.3. Caracteristici mecanice 626
2.4 Caracteristici elastice 632
2.5. Caracteristici reologice 640
3. *Stabilitatea excavaţiilor subterane* 644
3.1. Starea de tensiune a masivului de roci nederanjate prin excavaţii . . 644
3.1.1. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic 644
3.1.2. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic 646
3.1.3. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament plastic 647
3.1.4. Starea de tensiune într-un masiv cu comportament neelastic . . 649
3.1.5. Starea de tensiune de origine tectonică 649
3.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul excavaţiilor subterane 650
3.2.1. Studii şi cercetări teoretice clasice referitoare la repartizarea tensiunilor 651
3.2.1.1 Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene şi izotrope 651
3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice . . 656
3.2.2. Studii şi cercetări numerice referitoare la repartizarea tensiunilor (Metoda elementelor finite) . . 660
3.2.3. Studii şi cercetări efectuate prin metoda optică 664
3.2.4. Studiul tensiunilor şi a repartizării acestora prin măsurători directe 665
3.3. Presiunea rocilor înconjurătoare asupra excavaţiilor miniere subterane . . . 668
3.3.1. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere orizontale 670
3.3.1.1. Presiunea din tavan . . 670
3.3.1.2. Presiunea laterală . . . 686
3.3.1.3. Presiunea din vatră 686
3.3.2. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere verticale 688
3.3.2.1. Ipoteza forţelor 688
3.3.2.2. Ipoteza deformaţiilor . 692
3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale . . . 695

3.3.3. Presiunea rocilor asupra abatajelor 698
3.4. Studiul manifestării presiunii miniere prin măsurători directe 703
3.5. Studiul manifestării presiunii prin metoda modelării cu materiale echivalente 705

4. *Stabilitatea taluzelor* 709

4.1. Considerații privind condițiile și factorii care determină stabilitatea taluzelor 709
4.2. Forma suprafețelor de rupere și procedee de calcul ale acestora 718
4.3. Calculul stabilității taluzelor 718
4.3.1. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă elastică . . . 719
4.3.2. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă slab coezivă și cu coeziune mică 720
4.3.3. Stabilitatea taluzelor afectate de prezența pînzelor acrifere în masivul de rocă în care sînt executate 722
4.3.4. Metode aproximative 723
4.4. Măsuri de prevenire și control în cazul executării taluzelor 726

5. *Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță și planșeelor* 727

5.1. Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță 727
5.1.1. Considerații generale asupra calculului dimensiunilor pilierilor de siguranță 727
5.1.2. Procedee de calcul și verificarea dimensiunilor pilierilor de siguranță 729
5.1.3. Calculul dimensiunilor pilierilor de susținere la exploatarea sării prin dizolvare cinetică 734
5.2. Proiectarea și dimensionarea camerelor de exploatare și grosimii planșeelor dintre etaje 736
5.2.1. Deschiderea camerelor la tavan 736
5.2.2. Calculul lungimii unei camere 738
5.2.3. Calculul înălțimii unei camere 739
5.2.4. Calculul dimensiunilor planșeului dintre camere 739

6. *Fenomenele de manifestare dinamică a presiunii miniere* 741

6.1. Exploziile de rocă și substanță minerală utilă sau șocurile miniere . . 741
6.1.1. Exploziile de rocă produse în lucrări miniere singulare 747
6.1.2. Exploziile de rocă produse în lucrări miniere multiple și în abataje 747
6.2. Erupțiile de cărbune și gaz sau rocă-apă și gaz (viituri) 749

7. *Influența exploatărilor subterane asupra terenului de la suprafață* 751

7.1. Deformarea suprafeței terenului sub influența exploatării subterane . . . 751
7.1.1. Caracterul deplasării și deformării masivului de roci și a suprafeței terenurilor 751
7.1.2. Factorii care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor 753
7.1.3. Parametrii și elementele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor 754
7.1.4. Stadiile de dezvoltare a albiilor de scufundare 757
7.2. Metode de studiu a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor . . . 758
7.2.1. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare 759
7.2.2. Evoluția metodelor de calcul a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor 760
7.3. Metode matematico-analitice de calcul a parametrilor scufundării 761
7.3.1. Strate orizontale și cu înclinare mică 762

X. PROSPECȚIUNEA

Prof. dr. doc. ing. RADU BOTEZATU
Membru corespondent al Academiei R. S. România
Prof. dr. doc. GRAȚIAN CIOFLICA
Lector IOSIF DRĂGHICI
Lector dr. IOAN MĂLDĂRESCU
Lector dr. OVIDIU DRAGASTAN

Prospecțiunea cuprinde ansamblul operațiilor și lucrărilor de cercetare geologică geofizică, geochimică, geobotanică, sau cu lucrări miniere și foraje, executate în scopul evidențierii unor concentrații de substanțe minerale utile în anumite structuri geologice.

Prospectarea sistematică a unei regiuni se face trecîndu-se succesiv de la cercetări cu caracter general, ce privesc suprafețe mari, la cercetări de detaliu, localizate în zone favorabile acumulărilor de substanțe minerale utile. În funcție de gradul de aprofundare a cercetării unei regiuni, se pot distinge:

a) *prospecțiuni preliminare* (strategice), care se efectuează la scară mică, în vederea descifrării în linii generale a structurii geologice a regiunii și delimitării, în cadrul acesteia, a zonelor cu diferite grade de perspectivă pentru identificarea anumitor concentrații de substanțe minerale utile;

b) *prospecțiuni de detaliu* (tactice), care se execută la scară mare și au ca obiectiv descifrarea amănunțită a structurii geologice și cunoașterea, cu precizia necesară începerii explorării, a condițiilor geologice în care se găsesc concentrațiile de substanțe minerale utile identificate. Dacă activitatea de prospecțiune urmărește o astfel de succesiune, înseamnă că s-au asigurat condițiile unor cercetări sistematice, care sporesc eficiența lucrărilor geologice, deoarece necesitatea trecerii la faza superioară, prospecțiunea de detaliu, este justificată de rezultatele fazei precedente, a prospecțiunii preliminare. Uneori, însă, în activitatea de prospecțiune apar situații în care aceste două faze de cercetare nu mai pot fi urmărite, ca succesiune, cu multă rigurozitate; este cazul, de exemplu, al identificării unor concentrații de substanțe minerale utile, în faza lucrărilor de prospecțiune strategică, care impune trecerea direct la explorare, eliminînd astfel faza lucrărilor de prospecțiune de detaliu.

Se disting, în funcție de metodele de investigație utilizate, următoarele tipuri de prospecțiuni: *geologice, geofizice, geochimice, geobotanice, cu lucrări miniere și foraje.*

Lucrările de prospecțiune au la bază harta geologică a regiunii și ansamblul de date geologice, uneori și miniere, obținute prin cercetările anterioare, care oferă posibilitatea conturării perimetrului de prospectat și reprezintă, în același timp, o sursă pentru premisele geologice și indicatorii de prospecțiune. Metodele de prospecțiune sînt selectate în funcție de particularitățile structurii geologice, de condițiile geomorfologice și de natura substanței minerale utile ce urmează a fi prospectată. Eficiența lucrărilor de prospecțiune este mai ridicată în urma combinării variatelor metode de prospecțiune, și anume a acelora considerate a fi mai adecvate condițiilor geologice în care se află concentrațiile de substanțe minerale utile. Combinarea într-o regiune a metodelor de prospecțiune se poate realiza astfel:

a) prin aplicarea succesivă a diferitelor metode de prospecțiune, ceea ce presupune ca fiecare metodă utilizată să aibă la bază rezultatele metodelor precedente; este un mod de execuție rațional, nefiind legat de riscuri prea mari în obținerea rezultatelor, dar rezolvarea obiectivelor se face într-un timp mai îndelungat;

b) prin suprapunerea în timp, cel puțin pe un anumit interval, a diferitelor metode de prospecțiune; o astfel de complexare a lucrărilor de prospecțiune reduce durata execuției, dar oferă și riscul cercetărilor, uneori destul de costisitoare și cu rezultate negative.

Indiferent de metodele de prospecțiune folosite și de gradul de aprofundare al investigațiilor, activitatea de prospecțiune presupune trei etape:

a) *pregătirea pentru teren,* cînd se întocmește documentația geologică și se elaborează proiectul tehnico-geologic;

b) *lucrul pe teren,* cînd se adună ansamblul de informații necesare descifrării structurii geologice a regiunii prospectate și conturării perspectivelor sale din punct de vedere economic;

c) *prelucrarea informațiilor,* cînd se precizează, pe baza investigațiilor de laborator și a datelor de teren, elementele care justifică trecerea la o fază superioară de cercetare sau întreruperea activității de prospecțiune în regiune.

1. PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Prospecțiunea geologică cuprinde un ansamblu de investigații, care au ca element comun cartarea geologică efectuată în scopul descifrării structurii geologice a unei regiuni și a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile.

Investigațiile se execută în deschideri naturale și artificiale, pe fragmente de minereu și pe concentrate de minerale grele din aureole de dispersie mecanică, generate de corpurile de substanțe minerale utile. Rezultatele obținute se exprimă pe hărți topografice, conducînd în final la elaborarea hărților geologice, care oferă elementele de bază pentru interpretarea structurii geologice și stabilirea potențialului său economic.

Prospecțiunea geologică are o eficiență sporită în regiunile cu numeroase deschideri naturale, unde corpurile de substanțe minerale utile au generat, sub acțiunea proceselor de alterare supergenă, aureole de dispersie mecanică. În regiunile în care corpurile de substanțe minerale utile sînt localizate în structuri geologice ascunse, situate la diferite adîncimi în litosferă, prospecțiunea geologică se combină cu prospecțiunea geofizică, uneori cu prospecțiunea geochimică; lucrările miniere și forajele intervin, desigur, cu pondere diferită, în toate condițiile geologice.

1.1. PREMISE GEOLOGICE FUNDAMENTALE

Premisele geologice fundamentale cuprind ansamblul de elemente (structurale, magmatice, lito-stratigrafice, paleogeografice, metamorfice, geochimice) care controlează localizarea și conservarea concentrațiilor de substanțe minerale utile în structurile geologice. Prin natura lor, premisele geologice oferă baza teoretică pentru delimitarea arealelor cu diferite grade de perspectivă și pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune

I.1.1. PREMISE STRUCTURALE

Premisele structurale au o importanţă deosebită în conturarea zonelor în care structurile geologice sînt posibil purtătoare de mineralizaţii, îndeosebi de natură hidrotermală, sedimentară şi metamorfică. Rolul acestora este determinant la scară locală şi regională, deoarece elementele structurale controlează distribuţia în spaţiu şi aspectele morfologice ale corpurilor de minereu.

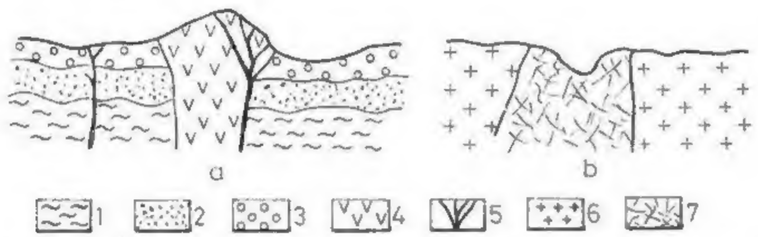


Fig. X.1. Depunerea de mineralizaţii pe fracturi şi pe o reţea densă de fisuri :

a — filoane ; *b* — volbură ; *1* — depozite cretacice ; *2* — depozite miocene ; *3* — aglomerate andezitice miocene ; *4* — stîlp de andezite ; *5* — filoane ; *6* — granite ; *7* — volbură.

Favorabile pentru localizarea concentraţiilor hidrotermale sînt *variatele tipuri şi sisteme de fracturi* şi *variatele tipuri de brecii* (tectonice, de explozie, de prăbuşire) ; rezultă filoane, cu diferite aspecte morfologice, dacă depunerile s-au realizat la nivelul fracturilor, sau stock-uri şi volburi, dacă mediul de depunere a fost o masă de brecii ori o reţea densă de fisuri (fig. X.1). Mai puţin frecvente, dar cu o deosebită importanţă pentru procesul de metalizare hidrotermală, sînt *fracturile din şarnierele şi de pe flancurile anticlinalelor*, precum şi *cavităţile de exfoliere a stratelor din zonele anticlinale şi sinclinale* (fig. X.2).

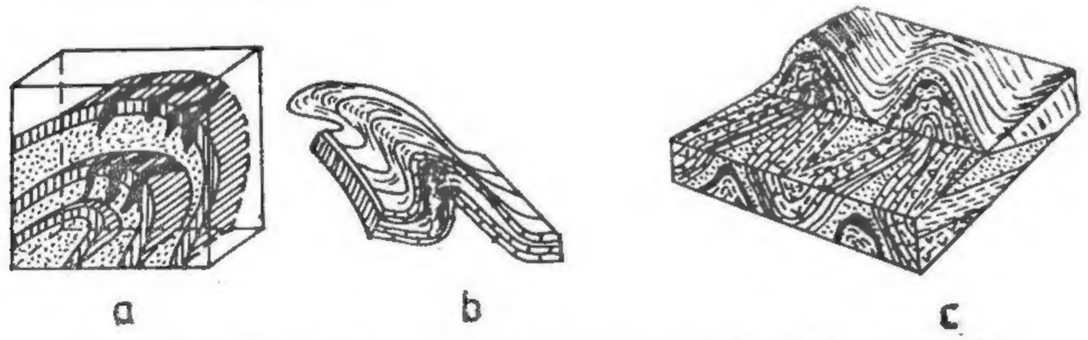


Fig. X.2. Localizarea mineralizaţiilor în raport cu elementele structurale :

a — în fisurile din şarniera unui anticlinal ; *b* — în fisurile de pe flancurile unei cute ; *c* — în spaţiile rezultate din exfolierea stratelor.

Fracturile majore, unele falii cu extinderi importante, ca şi *planele de încălecare* constituie, în anumite situaţii, calea de migrare a soluţiilor mineralizante. Efectele acestui fenomen sînt trădate de impregnaţiile de minerale metalice şi de transformările metasomatice ale rocilor cu astfel de elemente structurale ; corpurile de mine-

reuri vor fi localizate pe fracturile adiacente elementelor structurale majore. În acest fel, pentru fundamentarea teoretică a lucrărilor de prospecţiune geologică este esenţială stabilirea rolului îndeplinit de diferitele elemente structurale: a) cale de acces pentru soluţiile mineralizante; b) rol de intermediar între fracturile majore şi cele în care se depun mineralizaţiile; c) sediul localizării mineralizaţiilor (fig. X.3).

În cazul concentraţiilor de afiliaţie sedimentară şi metamorfică importante sînt deformările plicative şi rupturale care afectează corpurile de minereu. Uneori, corpurile

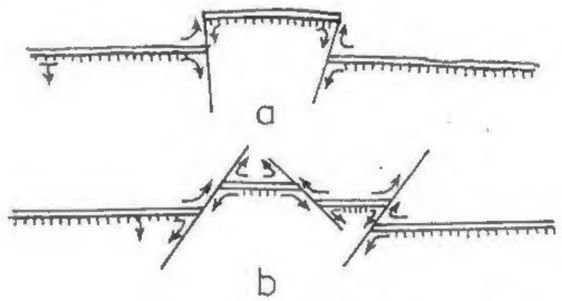


Fig. X.3. Circulaţia soluţiilor hidrotermale pe falii :

a — falii transversale ; *b* — falii diagonale.

de minereu prinse în cîmpul de acţiune al mişcărilor tectonice îşi pot păstra, pe distanţe mari, aspectele morfologice primare; alteori acestea sînt intens cutate şi budinate, adesea efilîndu-se pe flancurile cutelor, iar în zona axială a anticlinalelor şi sinclinalelor realizîndu-se o îngroşare a masei de minereu. Intervenţia deformărilor rupturale, alături de cele plicative, face ca forma primară a zăcămintelor să fie cu greu recunoscută. În aceste situaţii, reconstituirea formei iniţiale implică un studiu statistic al tuturor elementelor structurale, stabilindu-se relaţiile de timp dintre ele, ca şi etapele procesului de deformare.

Adesea deformările plicative şi rupturale din timpul metamorfismului regional sînt însoţite şi de fenomene de remobilizare locală şi de redepunere a substanţelor minerale utile, la nivelul planelor de şistozitate şi a fracturilor. Astfel de concentraţii locale, realizate în metamorfismul regional, oferă false succesiuni de depunere şi false aspecte concordante în planurile de şistozitate. Reconstituirea formei iniţiale este, în acest caz, şi mai dificilă, ea necesitînd studii aprofundate petrografice, stratigrafice, microstructurale şi chiar paleogeografice, pe ansamblul unităţii structurale în care se află zăcămintele, în scopul orientării lucrărilor de cercetare geologică.

Corpurile de minereu sînt grupate în unităţi metalogenetice de diferite mărimi, în cadrul unităţilor tecto- structurale majore, plăcile litosferice; ele urmăresc, din aproape în aproape, unităţile petrogenetice cu care se asociază. Examinarea relaţiilor dintre aceste unităţi conduce la concluzii cu importanţă în prospecţiunea preliminară, privind cadrul tectonic, asociaţiile petrometalogenetice şi poziţia lor în unităţile tecto-structurale majore.

Astfel s-a remarcat faptul că la marginea plăcilor litosferice cu contacte de divergenţă, contacte de convergenţă sau contacte definite ca falii transformante, corpurile de minereu au frecvenţa cea mai mare, în timp ce în interiorul plăcilor frecvenţa lor este mai redusă.

Aşa, de exemplu, o mare parte dintre concentraţiile lichidmagmatice (Cr, Ni-Cu, Fe-Ti-V), hidrotermale (filoane şi volburi cu minealizaţii de Cu, pirită etc.) şi vulcanogene sulfuri masive stratiforme tip *Cipru*, oxizi de fier şi mangan) se află în regiunile de xpansiune din domeniul oceanic şi al bazinelor marginale, asociindu-se magmatitelor

tholeiitice și sedimentelor de la partea superioară a acestora (fig. X.4). Uneori, astfel de concentrații, asociate ultrabazitelor (peridotite, serpentinite) și bazitelor (gabrouri, curgeri de lave bazaltice, frecvent în facies de pillow-lava), se găsesc pe marginea plăcilor cu contacte de convergență, în poziție alohtonă; sînt fragmente de crustă oceanică (ofiolite alohtone). Mineralizațiile cuprifere asociate complexelor de roci bazice de la Baia de Aramă aparțin acestui tip.

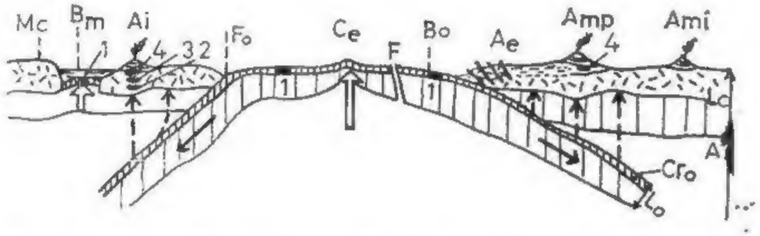


Fig. X.4. Localizarea corpurilor de minereuri la marginea plăcilor litosferice :

Ce — creastă de expansiune principală; *F* — falie transformantă; *Fo* — fosă; *Bo* — bazin oceanic; *Lo* — litosferă oceanică cu crustă oceanică (*Cro*) și sedimentele de la partea sa superioară; *Lc* — litosferă continentală; *A* — astenosferă; *Ae* — arc extern; *Amp* — arc magmatic principal tip *andin*; *Ami* — arc magmatic intern; *Ai* — arc insular; *Bm* — bazin marginal; *Mc* — margine continentală inactivă; *1* — concentrații vulcanogene de Cu și pirită tip *Cipru* și de oxizi de fier și mangan; *2* — concentrații vulcanogene de Cu—Zn, tip *Gyervinsk*; *3* — concentrații vulcanogene de Zn—Pb—Cu stratiforme tip *Kuroko*; *4* — concentrații de Cu(Mo, Au) tipul *porphyry*.

O altă parte dintre concentrațiile metalifere, îndeosebi pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale, ca și unele vulcanogene cu aspect stratiform, se află în regiunile de comprimare a litosferei, în relații genetice îndeosebi cu magmatite calco-alcaline: granite, granodiorite, diorite, monzodiorite, andezite, dacite, riolite; acestea provin prin consolidarea magmelor generate în cadrul zonelor de subducție tip *andin*. În arcurile magmatice principale tip *andin* se găsesc cele mai variate și mai numeroase concentrații pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale; pentru acestea din urmă sînt caracteristice mineralizațiile de Cu (Mo, Au) din sistemul *porphyry*, de Au-Ag și polimetalice cu aspecte filoniene și de volburi, ca și de Au tip *Carlin* de temperatură scăzută înroci carbonatice. Magmatitele din arcul magmatic intern conțin concentrații pirometasomatice și hidrotermale (Sn, tip *porphyry*, W, polimetalice). În arcul extern pot apare uneori granite *tip S* purtătoare de mineralizații hidrotermale de staniu. Cu o frecvență deosebită sînt mineralizațiile asociate magmatitelor din arcurile insulare, ca de exemplu: concentrații lichidmagmatice, hidrotermale și vulcanogene de sulfuri (Cu-Zn) tip *Gjervinsk*, formate în relații genetice cu magmatite bazice ale seriei tholeiitice, în stadiul de arc imatur; concentrații vulcanogene de sulfuri masive (Zn-Pb-Cu) stratiforme tip *Kuroko*, asociate diferențiatelor acide din seria calco-alcalină, în stadiu de arc matur; concentrații de cupru din sistemul *porphyry* aflate în relații genetice cu magmatite dominant dioritice, calco-alcaline. Concentrațiile pirometasomatice și hidrotermale (Cu din sistemul *porphyry* și din skarne; Pb-Zn, Fe, B, Mo-Bi, Cu-Mo-Bi, W din skarne; filoane de cuarț-molibden) aflate în asociația granit-granodiorit sau granodiorit-diorit, monzodiorit, Senonian-paleocene, împreună cu mineralizațiile hidrotermale (Au-Ag; Cu-pirită; polimetalice; Cu din sistemul *porphyry*) din asociațiile andezitice

neogene (roci andezitice cu diferențiatele lor) de pe teritoriul țării noastre aparțin metalogenezei zonelor de subducție, formate în arcuri magmatice.

Unele concentrații metalifere, cum sînt de exemplu cele de Sn-W și de U, apar în asociație cu intruziuni de granite tip *S* în perioada proceselor de coliziune, cînd are loc închiderea spațiului oceanic (fig. X.5).

Mineralizațiile din lungul faliilor transformante sînt mai puțin studiate. Sînt menționate anumite concentrații lichid-magmatice de Cu-Ni din ultrabazite sau de Ti

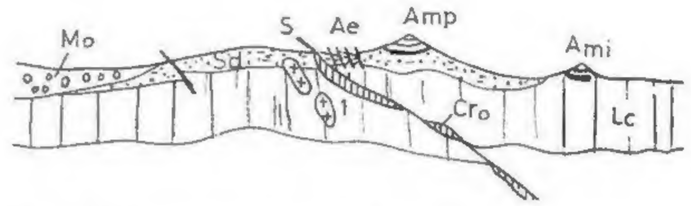


Fig. X.5. Asocierea unor mineralizații cu magmatite granitice formate în timpul coliziunii :

Ae — arc extern; *Amp* — arc magmatic principal; *Ami* — arc magmatic intern; *Cro* — fragmente de crustă oceanică; *Sd* — sedimente; *Mo* — molasă; *S* — linie de sutură; *Lc* — litosferă continentală; *1* — granite de tip *S*, formate în timpul coliziunii, cu care se asociază mineralizații de Sn, W,U sau Ag—Co—Ni (după R.D. Beckinsale și A.H.G. Mitchell, 1981, cu modificări).

(ilmenit) din gabrouri, aflate pe astfel de falii. Investigațiile recente au arătat că faliile transformante din spațiile oceanice se pot corela pe direcție cu unele fracturi continentale; la intersecția acestor falii cu creasta oceanică, precum și a fracturilor continentale de pe direcțiile faliilor transformante, cu alte sisteme de fracturi tectonice majore de pe continent, se dispun importante corpuri de minereuri.

În interiorul plăcilor, în relații genetice cu magmatismul anorogenic din zonele fierbinți apar concentrații lichidmagmatice și hidrotermale, uneori de mare valoare economică. Este cazul concentrațiilor de Fe-Ti, Ni-Cu, Pt, Cr din unele intruziuni gabro-periodotitice, stratiforme, a carbonatitelor din complexele alcaline, ca și a unor mineralizații de staniu asociate granitelor anorogenice. În rifturile intracontinentale sînt frecvente mineralizațiile stratiforme de Pb-Zn-Ba tip *Mississippi Valley* și concentrații de Cu în roci detritice grosiere; în asociații cu vulcanite se găsesc corpuri de sulfuri masive. Pe fracturile ce delimitează rifturile apar carbonatite cu Nb, TR, U, Th, Zr, Cu, P etc. Au fost identificate, în astfel de cadru tectonic, și mineralizații de Cu sau Cu-Mo tip *porphyry* ca și kimberlite cu diamante.

1.1.2. PREMISE MAGMATICE

Premisele magnatice privesc un ansamblu de elemente legate de evoluția în timp și în spațiu a magmelor și a soluțiilor postmagmatice afiliate, pe baza cărora pot fi conturate zonelor favorabile localizării concentrațiilor de substanțe minerale utile. Astfel de elemente sînt: relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite, relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația magmatitelor, forma de zăcămînt, dimensiunea și structura internă a corpurilor eruptive, ca și zonalitatea mineralizațiilor.

Relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite pot fi: *genetice* și *paragenetice*.

În cazul relațiilor genetice, magmatitele și concentrațiile de substanțe minerale utile asociate prezintă cel mai apropiat grad de înrudire, ele avînd ca element comun sursa și procesele de formare. Prin modul lor de prezentare, magmatitele purtătoare de concentrații de minerale utile constituie chiar ele corpuri de minereuri. În asociație genetică evidentă și cu valoare deosebită pentru lucrările de prospecțiune, se află

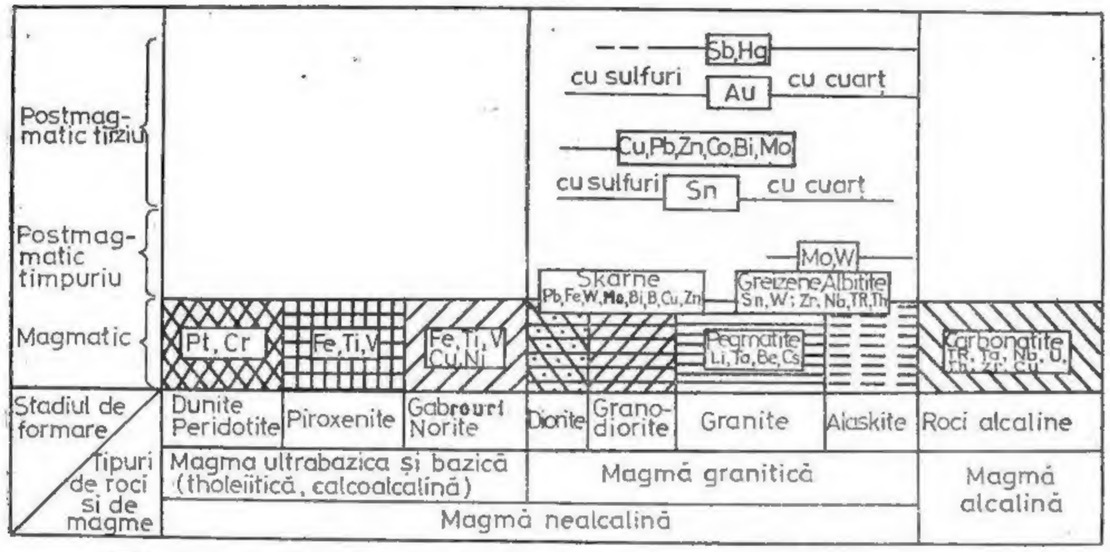


Fig. X.6. Afinitățile anumitor elemente pentru unele tipuri de magme.

concentrațiile de minerale metalice de natură lichidmagmatică din intruziunile de roci bazice și ultrabazice. Este cazul cromitului și platinei din peridotite și serpentinite, ilmenitului și titanomagnetitului din gabrouri și anortozite, pirotinei nichelifere din norite și gabrouri, diamantului din kimberlite etc.

În cazul relațiilor paragenetice, magmatitele și mineralizațiile asociate au ca element comun numai sursa, procesele genetice fiind deosebite. În astfel de relații se găsesc, de exemplu, mineralizațiile din skarne și greisene afiliate intruziunilor acide și intermediare, mineralizațiile de tip *porphyry copper* sau de tip *porphyry molybdenum* din intruziunile în facies porfiric, filoanele cu mineralizații auro-argentifere, cuprifere și polimetalice asociate vulcanismului andezitic.

De fapt, astfel de relații genetice și paragenetice sînt o continuare și, prin urmare, o concretizare a afinităților anumitor elemente pentru unele tipuri de magme (fig. X.6). Magmele bazice și ultrabazice sînt în general deficitare în componenți volatili, ceea ce influențează concentrarea cu precădere a Pt, Os, Ir, Cr, Ti, V, Ni și Cu în faza lichidmagmatică. Magmele acide au un conținut ridicat în componente volatile, ceea ce determină apariția fluidelor care generează treptat greisenele și albititele cu concentrații de Sn, W, Nb, Zr, Th, TR. Magmele intermediare prezintă cantități suficiente de componente volatile, pentru ca fluidele diferențiate din acestea să contribuie la formarea skarnelor și mineralizațiilor asociate (Fe, B, W, Mo, Bi, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, U). Soluțiile hidrotermale provenite printr-o diferențiere evoluată

atît a magmelor acide cît și a celor intermediare concentrează Mo, W, Sn, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Bi, U, Au, Ag, Sb, Hg. În contrast cu magmele nealcaline se află cele alcaline, pentru care prezintă afinități TR, Nb, Ta, Zr, Th, U etc. care se concentrează prin intermediul soluțiilor postmagmatice.

Din numeroasele observații de teren a rezultat că magmele acide și intermediare generează cea mai mare parte din mineralizațiile postmagmatice; ele ar reprezenta circa 95% din ansamblul concentrațiunilor postmagmatice afiliate magmelor nealcaline și alcaline.

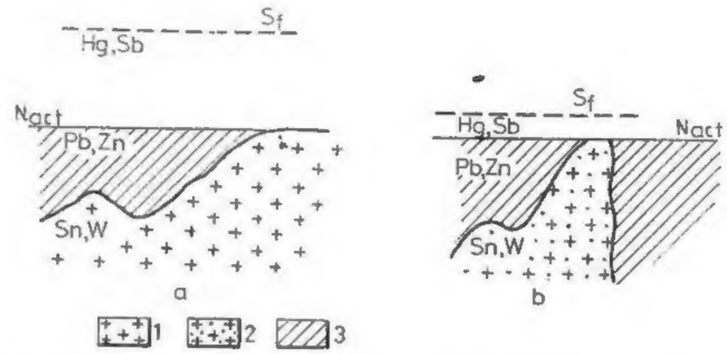


Fig. X.7. Relațiile dintre dezvoltarea mineralizațiilor în zonele de influență ale intruziunilor și granulația rocilor:

1 — granite; *2* — microgranite; *3* — formațiuni înconjurătoare; N_{act} — nivelul actual de eroziune; S_f — suprafața în momentul formării intruziunilor.

Aceste aspecte, oarecum generale pentru fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, au fost adîncite în ultimul timp, în sensul identificării unor asociații preferențiale ale unor concentrații de substanțe minerale utile cu anumite tipuri de intruziuni. Spre exemplu, s-a stabilit că mineralizațiile de casiterit din pegmatite și de casiterit-cuarț, hidrotermale, sînt legate preferențial de intruziuni acide în care K > Na. În schimb, concentrațiile de casiterit-sulfuri sînt în asociație cu intruziuni intermediare, granodioritice sau cuarț-monzonitice. Conținutul în Sn al granitelor purtătoare de mineralizații stanifere este ridicat (16-30 g/t sau mai mult), în timp ce în granitele lipsite de astfel de mineralizații conținutul în Sn este scăzut; concentrarea staniului apare, în schimb, la nivelul biotitului (80 la 200 g/t Sn).

Efectuarea unor astfel de investigații sistematice, pe asociații de mineralizații și intruziuni, ar putea oferi o mai bună fundamentare a lucrărilor de prospecțiune, în sensul conturării arealelor cu diferite grade de perspectivă și chiar a precizării intruziunilor cu potențial metalogenetic ridicat.

Relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația rocilor eruptive, cu care acestea se asociază, permit a previziona dezvoltarea pe înălțimi mai mari sau mai restrînse a mineralizațiilor, în zonele de influență ale intruziunilor; mineralizațiile au o extindere mai mare în aria de influență a intruziunilor constituite din roci grăunțoase și mai redusă în jurul intruziunilor alcătuite din roci micrograunțoase (fig. X.7). Această corelație este determinată de rata de răcire a magmei care, la rîndul său, va controla momentul de separare a soluțiilor metalizante din camera magmatică și modul lor de diferențiere în spațiu.

Forma de zăcămînt a corpurilor eruptive, privită în corelaţie cu caracterul acid, intermediar, bazic sau ultrabazic al rocilor componente, oferă indicaţii asupra poziţiei în spaţiu şi chiar a tipurilor de mineralizaţii.

Concentraţiile de substanţe minerale utile asociate plutonilor şi subvulcanilor cu caracter acid sau intermediar sînt localizate în zonele marginale şi în cele de influenţă ale acestora (zone de contact, formaţiuni înconjurătoare); ele au un caracter pegmatitic, pirometasomatic şi hidrotermal. Se consideră că în apropierea apofizelor slab înclinate şi de formă neregulată sînt cele mai favorabile condiţii de depunere a

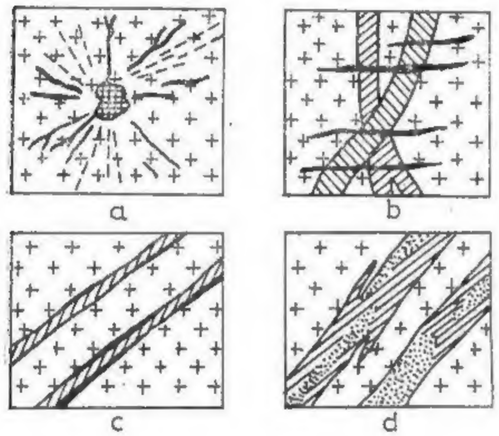


Fig. X.8. Relaţii între dik-uri de roci eruptive intermediare sau acide şi mineralizaţii hidrotermale :

a — între dik-uri radiare (linii continui) şi mineralizaţii (linii întrerupte); *b* — între dik-uri (cu haşuri) întretăiate de filoane metalifere (benzi negre); *c* — între dik-uri (haşuri) şi mineralizaţii benzi (negre) localizate pe aceleaşi fracturi; *d* — dik-uri (cu haşuri) şi mineralizaţii sub formă de impregnaţii (punctate).

acestor mineralizaţii. În faciesurile porfirice ale plutonilor şi în rocile subvulcanice, adesea cu o reţea densă de fisuri, concentraţiile metalifere se pot dispune ca impregnaţii şi vinişoare (volburi), însoţite de alteraţii hidrotermale caracteristice; sînt mineralizaţiile de tip *porphyry*. Relaţiile spaţiale ale dik-urilor cu mineralizaţiile hidrotermale pot varia de la o dispoziţie radiară sau de întretăiere, pînă la localizarea pe aceeaşi fractură (fig. X 8).

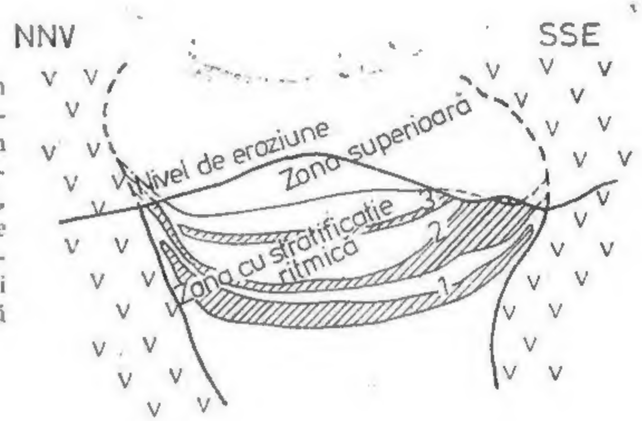
În contrast cu acestea, concentraţiile asociate lopolitelor, lacolitelor, pînzelor intruzive şi dik-urilor de roci bazice şi ultrabazice, diferenţiate stratiform sau *alpino-tip* sînt localizate cu precădere în interiorul intruziunilor, ca diseminări, cuiburi, şlire şi acumulări sub formă de orizonturi continui sau discontinui; ele au un caracter lichid magmatic. Depunerile hidrotermale sînt în afara intruziunilor şi au o importanţă redusă.

Mineralizaţiile asociate aparatelor vulcanice şi coloanelor de brecii din complexele vulcanice se dispun în apropierea contactului cînd au un aspect filonian, sau în interiorul acestora, cînd alcătuiesc volburi; uneori se dezvoltă în formaţiunile înconjurătoare, la distanţe mai mari sau mai mici faţă de corpurile eruptive înrădăcinate, fiind controlate structural. Stivele de lave, uneori bazice (tholeiitice), alteori andezitice-dacitice, conţin corpuri stratiforme de sulfuri masive, vulcanogene, situate la limita cu formaţiunile sedimentare acoperitoare; ele s-au format în condiţii submarine.

Dimensiunea intruziunilor oferă o primă imagine asupra mărimii corpurilor de minereuri. Se consideră că zăcămintele cu dimensiuni mari sînt legate genetic de batholite, stock-uri şi lopolite. Prin aceasta nu trebuie neglijată cercetarea intruziunilor de mică adîncime (lacolite, sfenolite, variate apofize, dik-uri) cărora li se asociază importante concentraţii metalifere cu valoare deosebită.

Intruziunile bazice şi ultrabazice sînt diferenţiate stratiform sau *alpino-tip*. În cazul intruziunilor stratiforme, acumulările de substanţe minerale utile apar în orizonturile bazale sau intermediare; există situaţii cînd concentraţiile metalifere se găsesc la diferite nivele în profilul intruziunilor (fig. X.9). Orizonturile purtătoare de minerale utile sînt mai mult sau mai puţin continue, cvasiorizontale sau înclinate şi prezintă grosimi variabile de la cîţiva centimetri la cîţiva zeci sau sute de metri. În cazul intruziunilor diferenţiate *alpino-tip* concentraţiile de substanţe minerale utile formează şlire, cuiburi şi diseminări în masa intruziunii.

Fig. X.9. Secţiune geologică prin dike-ul de la Almaş Sălişte (Munţii Drocea). Zona superioară — alcătuită din gabrouri şi anortozite; zona cu stratificaţie ritmică — cuprinde trei nivele (*1*, *2*, *3*) formare din gabrouri, hiperite şi dolerite cu magnetit (benzile haşurate) care alternează cu gabrouri (porţiunile albe). Intruziunea se află în bazalte tholeiitice, jurasice.



Elementele structurale ale unei intruziuni pot fi *primare* şi *secundare*. Primele elemente structurale, sesizabile la scară microscopică sau mezoscopică, se formează în faza de curgere (pretectonică), cînd are loc procesul de cristalizare, şi în faza solidă,

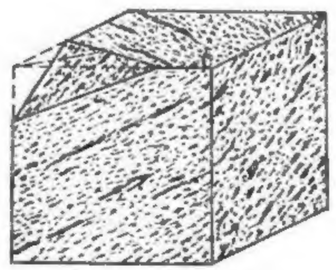


Fig. X.10. Dispunerea benzilor de minereu în planul de curgere.

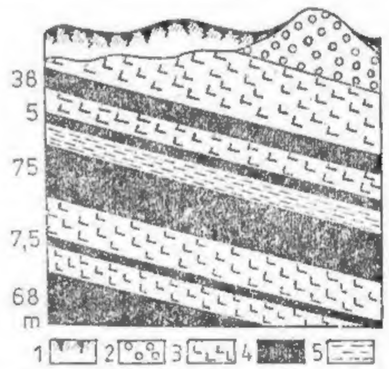


Fig. X.11. Localizarea benzilor de cromit în lopolitul de la Bushveld :

1 — sol; *2* — anortozite; *3* — gabrouri; *4* — cromite; *5* — bronzite.

după consolidarea zonelor periferice ale camerei magmatice. În faza de curgere apar foliaţia şi liniaţia (fig. X.10), în lungul cărora se dispun mineralele utile; uneori ele pot da naştere la acumulări stratiforme (fig. X.11). În faza solidă rezultă fisuri primare, localizate în părţile marginale ale intruziunii, unele conform cu faliaţia şi liniaţia

(fig. X.12). Fisurile transversale (*5*), fisurile slab înclinate (*3*) și fisurile marginale (*2*) pot conține mineralizații hidrotermale și pegmatite; fisurile longitudinale (*4*) și fisurile diagonale (*6* și *7*) sînt de regulă închise și lipsite de mineralizații.

Elementele structurale secundare se datoresc mișcărilor tectonice, care se manifestă după formarea corpului intruziv. Ele au extinderi mari și conțin mineralizații, așa cum am menționat la premisele structurale.

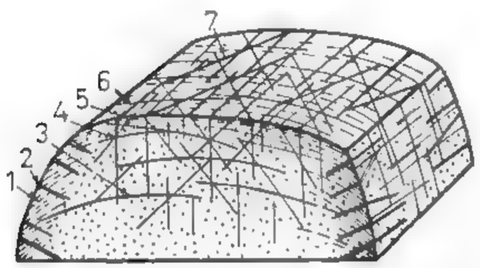


Fig. X.12. Orientarea fisurilor primare într-un corp intruziv:

1 — liniație primară; *2* — fisuri marginale; *3* — fisuri tangențiale; *4* — fisuri longitudinale; *5* — fisuri transversale; *6* și *7* — fisuri diagonale.

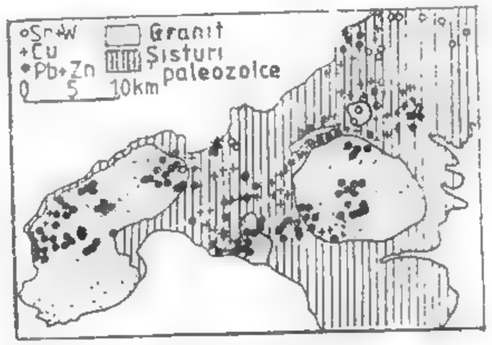


Fig. X.13. Distribuția zonală a mineralizațiilor de la Cornwall—Anglia.

Distribuția zonală a mineralizației (fig. X.13) are o valoare deosebită în stabilirea relațiilor dintre anumite substanțe minerale utile și intruziunile care le-au generat. Variația sistematică a compoziției mineralogice sau chimice în cuprinsul zonelor cu mineralizații, ca și tendințele de dezvoltare a acestora în acoperișul intruziunii, constituie elemente de orientare a lucrărilor de prospecțiune.

1.1.3. PREMISE LITO-STRATIGRAFICE

Natura litologică și poziția stratigrafică a formațiunilor în care se concentrează substanțele minerale utile prezintă importanță în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune.

Astfel, pentru formarea zăcămintelor postmagmatice, un rol esențial îl au *porozitatea* și *casanța rocilor*. Prezența rocilor poroase sau traversate de variate sisteme de fisuri asigură circulația soluțiilor mineralizante și, prin urmare, condiții favorabile pentru localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile.

În același timp, *existența într-o regiune a unor formațiuni carbonatice, străbătute de intruziuni acide-intermediare, calco-alcaline sau alcaline, însoțite de un cortegiu de transformări pneumatolitice și hidrotermale* reprezintă un criteriu important pentru conturarea unor zone posibil purtătoare de concentrații metasomatice de fier, molibden, bismut, wolfram, cupru, plumb-zinc-argint etc. Formațiunile purtătoare de șisturi cărbunoase, șisturi cuprifere sau piritoase, lamprofire, amfibolite etc. sînt medii favorabile pentru concentrarea intensivă a anumitor mineralizații cum sînt cele de aur sau uraniu; mineralizațiile vor fi mai bogate în zonele de intersecție a fracturilor, prin care

circulă soluțiile mineralizante, cu rocile care constituie mediul reducător. Este influența topominerală prin care se exprimă relațiile spațiale dintre unele roci și concentrații metalifere.

Controlul stratigrafic se poate manifesta la scară regională sau locală, mai ales în cazul zăcămintelor de afiliație sedimentară. La diferite nivele, în *secvențele formațiunilor sedimentare, marine sau lagunare*, se pot afla, de la caz la caz, concentrații sedimentare chimice, vulcanogene sau de evaporare ca, spre exemplu, de fier, mangan, aluminiu, sulfuri, săruri, sulfați, argile etc. Pe suprafețele de peneplenizare, unde se manifestă un control geomorfologic riguros alături de cel stratigrafic, se găsesc adesea depuneri reziduale de nichel, fier, mangan, aluminiu etc.

În general, localizarea zăcămintelor în anumite etaje, orizonturi sau nivele ale unor formațiuni geologice, face necesară cunoașterea detaliată a unităților stratigrafice, a variațiilor de faciesuri și a accidentelor tectonice, care pot determina efilarea sau dispariția acestora.

1.1.4. PREMISE PALEOGEOGRAFICE

Elementele paleogeografice sînt utilizate în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, mai ales în strînsă corelație cu cele paleotopografice și geomorfologice, deoarece ele sînt esențiale în formarea și localizarea minereurilor. Dintre astfel de elemente reținem relieful ariilor de acumulare și dependența de ariile sursă, cursul paleorîurilor, variația liniei de țărm, direcția curenților în ariile de acumulare, paleoclimatul, existența unor centre de activitate vulcanică sau de izvoare fierbinți.

Mediul marin prezintă variate forme de relief cu acumulări specifice de substanțe minerale utile, distribuite în spațiu în funcție de paleotopografie (fig. X.14). *Zonele litorale și de platformă continentală* sînt favorabile concentrațiilor de fier oolitic, plumb și zinc, cupru și fosfați; *în golfurile mai mult sau mai puțin închise* se pot localiza unele minereuri de fier, cupru etc. *Pragurile* dintre două arii marcate de strîmtori, istmuri

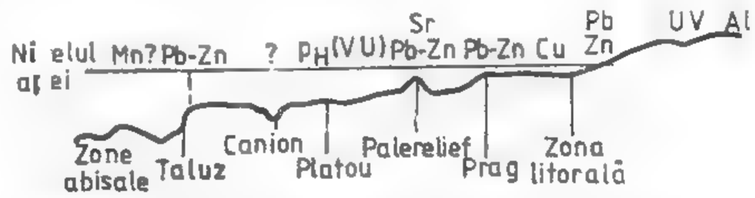


Fig. X.14. Distribuția concentrațiilor de minereuri în funcție de paleogeografie (după P.Nicolinii, 1970)

formațiuni coraligene, zone pelagice etc. au uneori un rol important în localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile; un exemplu îl constituie istmul Kafue care separă două aliniamente de mineralizații cuprifere din Zambia (fig. X.15). *Marginile ariilor peneplenizate* constituie regiuni potențiale cu variate concentrații biogene și chemogene, ca de exemplu: bauxite, minereuri de fier și mangan, săruri, argile refractare. Uneori *denivelările carstice* conțin acumulări de fier, mangan, plumb-zinc, bauxite, osforite, baritină etc.

Reconstituirea cursurilor unor *vechi rețele hidrografice* este importantă deoarece în astfel de paleovăi și paleocuvete se găsesc depuneri de placersuri cu metale și pietre prețioase sau concentrații de uraniu, cupru și vanadiu; unele acumulări detritice (magnetit, ilmenit, rutil, zircon etc.) se află în *zonele de vărsare în mare* a acestor paleovăi. Descifrarea fluctuației liniei de țărm în cadrul procesului de transgresiune-regresiune ca și a orientării curenților marini, în strînsă corelație cu natura petrografică a formațiu-

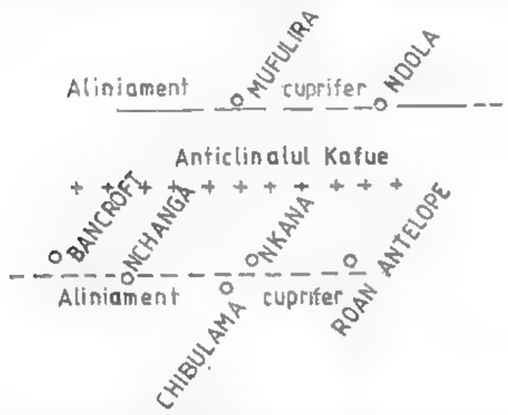


Fig. X.15. Istmul Kafue care separă două aliniamente cu mineralizații cuprifere din Zambia (după P. Nicolinii, 1970). Cerculețele indică principalele zăcăminte de cupru.

nilor geologice, oferă elemente pentru conturarea zonelor de concentrare a minereurilor, uneori chiar a diverselor faciesuri pe care le îmbracă acestea. Un exemplu de relație între fluctuația liniei de țărm și depunerea diferitelor sulfuri este redat în fig. X.16.

De regulă, *formațiunile transgresive* sînt purtătoare de concentrații de fosfați; minereurile de fier, mangan, aluminiu (bauxite) și de sulfuri se asociază rocilor situate mult deasupra suprafețelor de transgresiune. În condiții de regresiune, pe uscat se ma-

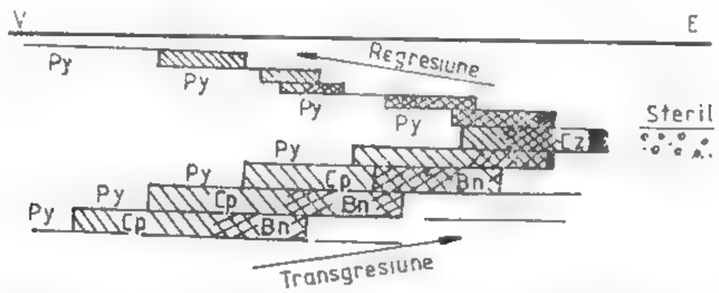


Fig. X.16. Relații între zonalitatea sulfurilor de natură sedimentară și fluctuația liniei de țărm (după W. G. Garlick, din P. Nicolinii, 1970):

Pv — pirită; Cp — calcopirită; Bn — bornit; Cz — calcozină.

nifestă intensiv procesul de alterație, generînd acumulări reziduale, iar în lagune procesul de evaporare, care conduce la depuneri de săruri.

Efectele paleoclimei se resimt puternic în geneza și localizarea minereurilor exogene, îndeosebi reziduale și de infiltrație; este cazul concentrațiilor de hidrosilicați de nichel pe serpentinite, laterite aluminoase pe roci silicatate slab ferifere, caoline pe roci feldspatice, oxizi de mangan pe roci primare manganifere, pălării de fier cu con-

ținuturi ridicate de Au, Fe, Pb pe unele zăcăminte de sulfuri. În general, climatul tropical și subtropical favorizează apariția lateritelor nichelifere și ferifere cu concentrații de asbolan, ca și a lateritelor aluminoase (bauxite) pe roci parentale silicatate (bazite, ultrabazite, sienite), iar cel temperat a unor concentrații reziduale de caolin pe roci feldspatice sau de fosfor, fier și mangan pe roci carbonatice.

Existența unor *centre de activitate vulcanică submarină* sau *cu manifestări de izvoare fierbinți* constituie premise pentru delimitarea unor areale cu sedimente feruginoase sau manganifere, ca și cu acumulări stratiforme de sulfuri vulcanogene.

1.1.5. PREMISE METAMORFICE

Premisele metamorfice, în corelație cu cele structurale, magmatice, litostratigrafice și paleogeografice oferă o primă imagine asupra formațiunilor cristalofiliene posibil purtătoare de substanțe minerale utile de afiliație metamorfică. O astfel de valorificare complexă a premiselor este necesară în vederea descifrării naturii premetamorfice a formațiunilor purtătoare de concentrații metalifere, a proceselor de metalogeneză premetamorfică și a aspectelor imprimate de metamorfism.

Conturarea zonelor favorabile și fundamentarea teoretică a investigațiilor în terenurile cristalofiliene implică cunoașterea următoarelor aspecte: a) asociațiile petrografice, inclusiv caracterul lor premetamorfic, succesiunea pe verticală a formațiunilor, variațiile laterale de faciesuri ale mediului litologic prospectat; b) comportarea minereului în metamorfismul dinamic, regional, de îngropare și termic (modificări morfologice, structurale, texturale și mineralogice cu fenomenele de remobilizare și concentrare locală; modificări în succesiunea normală de depunere); c) corelația între concentrațiile metalifere și nemetalifere cu faciesurile metamorfismului regional (tabelul X.1); d) cadrul tectonic în care s-a desfășurat metalogeneza premetamorfică și deformările plicative și rupturale care au afectat formațiunile purtătoare de substanțe minerale utile.

Tabelul X.1

Asociații de concentrații de substanțe minerale utile cu faciesurile metamorfismului regional

Concentrații de substanțe minerale utile	Faciesuri
Cupru nativ	Zeolitic
Hematit și magnetit, siderit-ankerit, aur, uraniu, sulfuri, grafit, azbest etc.	Șisturi verzi
Silicați de mangan și zinc, magnetit, disten, sillimanit, corindon, șmirghel, grafit, ilmenit etc.	Amfibolitic
Magnetit, rutil, granați etc.	Granulitic
Rutil	Eclogitic

Pentru anumite regiuni este caracteristică asociația unor formațiuni cristalofiliene cu vulcanite bazice, dolerite, gabrouri și ultrabazite, metamorfozate în faciesul șisturilor verzi sau amfibolitic, care constituie elemente de litosferă oceanică; de intruziunile bazice și ultrabazice pot fi legate genetic concentrații lichidmagmatice (Cr, Pt, Ni, Fe, Ti, V), iar de poleovulcanitele bazice concentrații vulcanogene de pirită și cupru, ca și de mangan. Frecvente sînt paleovulcanitele acide în masa complexelor cristalofiliene, cu care se pot asocia mineralizații vulcanogene de sulfuri (Zn, Pb, Cu). Recunoașterea unor astfel de formațiuni de metamorfite în complexele cristalofiliene constituie un metalotect regional cu perspective importante pentru o metalogeneză lichidmagmatică și vulcanogenă stratiformă, tip *Cipru* sau tip *Kuroko*.

Uneori, în formațiunile cristalofiliene apar corpuri granitoide sincinematice sau postcinematice, în aureola cărora se pot afla concentrații pegmatitice (feldspați, mică, metale rare, pietre prețioase etc.) sau pirometasomatice și hidrotermale (Sn, W, Au, Pb, Zn, Ag etc.), mai ales în apropierea apofizelor acestora. O importanță deosebită au lentilele și filoanele de cuarț aurifer, mai ales în regiunile de platformă.

Descifrarea structurii geologice a terenurilor metamorfice, cu reconstituiri ale paleomediilor de sedimentare, permite nu numai precizarea condițiilor de formare a unor concentrații premetamorfice (Fe, Mn, sulfuri) de natură sedimentară, chimică și biochimică, sau a unor concentrații metamorfice propriu-zise (grafit, disten, granați, rutil etc.), dar și conturarea arealelor cu diferite grade de perspectivă de a identifica astfel de resurse minerale.

1.1.6. PREMISE GEOCHIMICE

O importanță deosebită pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune în general și a celor geochimice în special prezintă cunoașterea acelor zone în care elementele chimice se găsesc într-o concentrație mai scăzută decît în zăcămînt, dar mai ridicată decît în mediul înconjurător, zone cunoscute sub denumirea de *aureole de dispersie* sau *aureole geochimice*(fig. X.17). Ele reflectă la o scară mai mare forma zăcămîntului

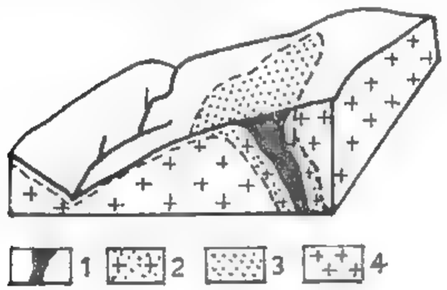


Fig. X.17. Aspectul unei aureole de dispersie:
1 — corp de substanță minerală utilă; *2* — aureolă de dispersie primară în granite; *3* — aureolă de dispersie secundară în sol; *4* — granite.

și pot fi folosite în prognoza privind existența unei mineralizații într-o regiune, îndeosebi atunci cînd contrastul dintre zonele cu conținuturi maxime și cele cu conținuturi minime din cuprinsul lor este puternic.

Aceste aureole geochimice, care pot să apară la zi sau pot fi ascunse în anumite structuri geologice, se grupează în: *aureole de dispersie primară* — formate simultan cu concentrațiile de substanțe minerale utile și *aureole de dispersie secundară* — rezultate prin procese de alterare supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile.

La rîndul lor, fiecare din aceste două tipuri de aureole poate avea un caracter *singenetic*, dacă apare în același timp cu rocile înconjurătoare sau *epigenetic*, dacă rezultă după formarea acestora.

În primul caz, al aureolelor singenetice, trecerea de la zăcămînt la zona învecinată se face treptat, forma aureolei reproducînd forma corpului de minereu și nefiind influențată de accidentele tectonice decît dacă rocile sînt străbătute de formațiuni mai noi și de altă natură decît roca gazdă. Astfel de aureole geochimice primare au extinderi mari și pot prezenta asociații tipice de elemente cu anumite roci (Cr, Pt, în peridotite și dunite, Ni, Cu în norite); ele sînt specifice zăcămintelor lichidmagmatice și zăcămintelor sedimentare și se folosesc la prospectarea concentrațiilor de Cr, Fe-Ti-V, Ni, Fe, Mn etc.

În cel de al doilea caz, al aureolelor primare epigenetice, trecerea de la zăcămînt la aureolă este în general tranșantă, conținutul scăzînd brusc la limita dintre mineralizație și roca gazdă; mărimea aureolei nu depinde atît de forma și concentrația zăcămîntului în componenți utili, cît mai ales de mobilitatea elementelor din fluidele mineralizante și de proprietățile rocilor gazdă. Forma și chiar compoziția chimică a aureolelor epigenetice sînt în mare măsură determinate de căile de acces ale soluțiilor, ca și de natura mediului înconjurător. Ele se pot forma în jurul zăcămintelor lichidmagmatice de injecție, pegmatitice, pirometasomatice, hidrotermale, mai rar a celor metamorfice, iar dintre cele exogene numai în apropierea zăcămintelor de infiltrație.

În cazul zăcămintelor postmagmatice este necesar să se stabilească relațiile dintre aureolele de dispersie și zonele afectate de transformări hidrotermale; acestea din urmă pot fi sincrone sau anterioare formării aureolelor de dispersie.

În categoria aureolelor de dispersie secundară, formate în timpul și din cauza proceselor de hipergeneză a zăcămintelor sînt incluse: aureole mecanice, aureole hidrogeochimice, aureole pedogeochimice și aureole biogeochimice (fig. X.18).

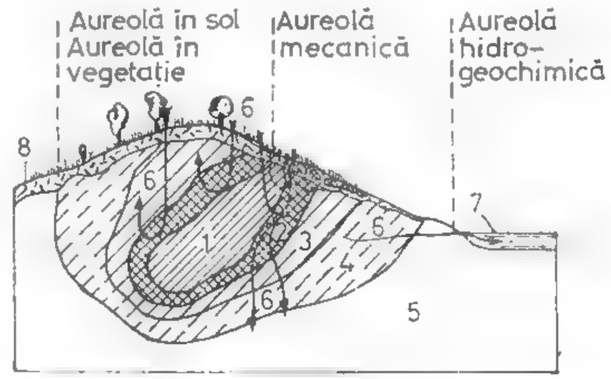


Fig. X.18. Schema formării aureolelor de dispersie secundară:
1 — zăcămînt; *2, 3, 4* — aureolă geochimică în roca gazdă; *5* — roca gazdă necontaminată; *6* — ape de infiltrație; *7* — ape curgătoare; *8* — sol.

Aureolele mecanice iau naștere prin procese de alterare supergenă în care dezagregarea fizică deține rolul principal, iar dispersia elementelor chimice se realizează prin intermediul unor agenți de transport, care antrenează mineralele rezistente la alterare. Ele pot fi: eluviale, deluviale, proluviale, aluviale și glaciare (fig. X.19).

— *Aureolele eluviale* se formează „in situ" în regiuni cu relief puțin accidentat. Zona anomală este restrînsă ca extindere, are o poziție simetrică față de zăcămînt, iar concentrațiile maxime se situează chiar deasupra sursei primare. Au fost utilizate pentru detectarea unor concentrații de aur, casiterit, wolframit, ceruzit ș.a.

— *Aureolele deluviale* și *proluviale* rezultă prin deplasarea pe mici distanțe a materialului dezagregat, el concentrîndu-se pe pantă, de unde și forma alungită a zonelor anomale; concentrațiile maxime se află, prin urmare, în aval de poziția corpului de minereu, considerat ca sursă primară.

— *Aureolele aluvionare* iau naștere în urma transportului pe distanțe mai mult sau mai puțin lungi față de sursa primară, a sortării și depunerii materialului insolubil de către apele rețelei hidrografice; ele se caracterizează printr-o formă liniară. În prin-

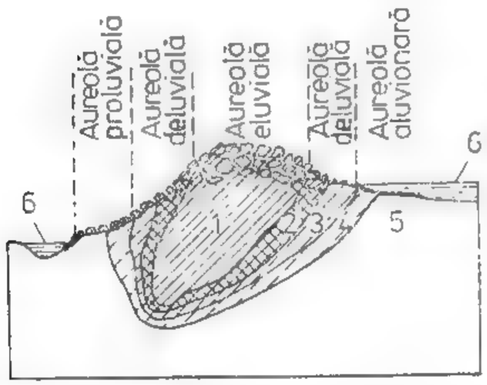


Fig. X.19. Aureole de dispersie secundară, mecanică:

1 — zăcămînt; *2, 3, 4* — aureolă geochimică primară; *5* — roca gazdă; *6* — rețea hidrografică.

cipiu, sursa primară a acestor aureole este localizată în apropiere de cota cea mai ridicată pînă la care s-a detectat aureola geochimică de-a lungul unei văi.

— *Aureolele glaciare* constituie zone de dispersie în apropierea zăcămintelor sau aureolelor primare antrenate de ghețari. De regulă au forma de evantai și ca extindere nu depășesc 1—2 km, în medie. În Scandinavia au fost conturate aureole glaciare ale unor zăcăminte de Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, iar în Canada ale unor importante concentrații de Fe.

Aureolele hidrogeochimice apar ca urmare a trecerii mineralelor instabile în soluții apoase sau suspensii coloidale, sub acțiunea apelor de infiltrație supergenă sau celor din pînza freatică. Extinderea lor depinde de capacitatea de migrare a elementelor în soluție, iar forma este de regulă liniară. Identificarea lor se face pe baza conținutului de SO^{-2}, de Cl^{-}, a diferitelor elemente metalice și a *p*H-ului.

Aureolele pedogeochimice rezultă din solubilizarea unor minerale și migrarea elementelor în sol. Dezvoltarea lor este determinată de natura, compoziția și textura solului, de valoarea *p*H-ului, de climă, de activitatea biologică, de relief etc. Ele iau naștere deasupra mineralizațiilor, au extinderi mari și prezintă în general un contrast puternic. În mod obișnuit, aureolele de dispersie din soluri pun în evidență o suprapunere a celor două tipuri de aureole pedogeochimice, singenetice și epigenetice, care se caracterizează printr-o accentuare a contrastului dintre fond și anomalii.

Cele mai multe aureole de dispersie secundară în soluri, identificate la noi în țară, sînt de tip singenetic (ex. în Munții Țibleș, în Munții Drocea, în Munții Poiana Ruscă la Muncelul Mic).

Aureolele biogeochimice sînt legate de plantele care se dezvoltă pe aureolele primare sau secundare din roci, ape și sol, formate în jurul corpurilor de substanțe minerale utile, care pot încorpora anumite elemente metalice (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, U, Au) în proporții mult mai mari decît plantele din zone fără mineralizații. Asimilarea elementelor de către plante poate conduce, în unele cazuri, la concentrații

excesive care să provoace apariția unor aspecte patologice (teratologice): dezvoltări anomale, modificarea culorii frunzelor, abundența unor specii sau dispariția altora etc. Aceste aspecte reprezintă premise pentru prospecțiunea geobotanică și pentru prospecțiunea biogeochimică.

În general aureolele secundare au extindere mai mare în suprafață decît aureolele primare și, deci, pot fi mai ușor identificate și conturate prin lucrări de prospecțiune geochimică. Pentru localizarea corpurilor mineralizate sînt, însă, necesare cercetări minuțioase, deoarece conținutul în elemente chimice este mult mai variabil decît în cazul aureolelor primare. În cadrul aureolelor secundare se pot distinge: *aureole semnificative* cu concentrații mari sau concentrații reduse — care au o legătură cu sursa mineralizată și *aureole nesemnificative*, care nu au relații cu zone mineralizate și se datoresc contaminărilor, erorilor în colectare și analize etc.

Interpretarea aureolelor de dispersie trebuie făcută în strînsă corelație cu observațiile geologice. Identificarea aureolelor suprapuse, separarea celor semnificative de cele nesemnificative, ca și selecționarea celor de interes practic, cu perspective de a identifica corpul de minereu sursă, asigură elaborarea unui program de cercetare cu lucrări miniere sau de foraj.

1.2. INDICATORI ÎN PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Informații privind existența unor concentrații de substanțe minerale utile, într-o anumită structură geologică, se pot obține prin intermediul: 1) *indicatorilor naturali*, care au la bază elemente legate atît de cortegiul de fenomene metasomatice, imprimate în rocile înconjurătoare în momentele formării concentrațiilor de substanțe minerale utile, cît și de evoluția ulterioară a acestor concentrații, sub acțiunea proceselor de alterație, cînd rezultă aureolele de dispersie secundară; 2) *indicatorilor proveniți din alte surse*, cum sînt documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică, privind activitatea geologică și minieră în trecut sau chiar existența unor ocurențe de mineralizații în regiunea ce urmează a fi prospectată.

1.2.1. INDICATORI NATURALI

Aceștia pot oferi informații directe sau indirecte asupra prezenței unor substanțe minerale utile în regiunea în care se execută lucrări de prospecțiune, în funcție de gradul de înrudire a elementelor examinate cu corpul de minereu.

Informațiile directe sînt date de: aflorimentele de substanțe minerale utile; zonele de oxidare ale corpurilor de substanțe minerale utile; fragmentele cu minerale utile; concentratele de minerale grele; mîlurile din albia cursurilor de ape; izvoarele de ape minerale.

— **Aflorimentele de substanțe minerale utile** sînt primele informații și cele mai certe, referitoare la existența unor concentrații de substanțe minerale utile.

— **Zonele de oxidație ale corpurilor de minereuri** constituie surse de indicații directe prin aspectele texturale, compoziția mineralogică, compoziția chimică și culoarea pălăriilor de fier.

Aspectele texturale ale pălăriilor de fier, extrem de variate, sînt caracteristice pentru recunoașterea tipurilor de minerale primare care au fost transformate în zona de oxidație (tabelul X.2); frecvența vacuolelor pălăriei de fier poate oferi o primă

Tabelul X.2

Aspecte texturale ale pălăriei de fier

Mineralul primar	Textura	Caracteristici
1	2	3
Galenă		Pereții laterali sînt rectilinii, paraleli, urmăresc liniile de clivaj ale galenei și sînt constituiți din limonit silicios; perpendicular pe acest sistem apar lamele paralele și discontinue, care nu depășesc 1 mm lungime; grosimea pereților este de 0.05—0.5 mm
		Pereții laterali sînt divergenți
		Pereții au o dispoziție radiară
Blendă		Aspectul unui burete

Tabelul X.2 (continuare)

1	2	3
		Pereții laterali sînt constituiți din vinișoare de cuarț, uneori cu pigment limonitic, dispuse în fascicule paralele; legătura dintre pereții laterali se face prin diferite sisteme de lamele
Calcopirită		Asemănătoare cu ale blendei; lungimea pereților redusă, vinișoarele de cuarț sînt paralele, iar pereții transversali sînt mai puțin rezistenți; depuneri de limonit pe pereți și în vacuole
Bornit		Vacuolele au formă triunghiulară (1—10 mm) și conțin limonit; grosimea pereților este de 0,05—0,5 mm
Tetraedrit		Pereții sînt continui și rezistenți; forma generală amintește de curbele de nivel ale unui relief accidentat
Molibdenit		Pereții au aspectul unor foițe care urmăresc clivajul după fața de pinacoid

imagine privind raportul dintre mineralele metalice și nemetalice (ganga) aflate în zona primară a corpului de minereu.

Unele minerale metalice primare dintr-un corp de minereu se pot conserva chiar la nivelul zonei de oxidație, evitînd alterația, datorită depunerii de minerale secundare pe suprafața lor; este cazul galenei, care poate fi protejată de o crustă de anglezit sau ceruzit. Identificarea unor astfel de minerale oferă indicații directe asupra tipului de mineralizație existentă în zona primară. Informații, în acest sens, pot da și mineralele secundare tipomorfe, formate în cuprinsul zonei de oxidație. Astfel, depunerile de annabergit și eritrină trădează, aproape fără excepție, existența arseniurilor de cobalt și nichel în adîncime, în zona primară; prezența malachitului, azuritului, cupritului, tenoritului sau calcantitului indică o mineralizație primară de sulfuri de cupru. Tipul de mineralizație existent în zona primară a unui corp se poate preciza și pe baza analizelor chimice sau spectrale, executate pe bucăți de minereu prelevate din zona de oxidație.

Culorile mineralelor oxidate, din zona de afloriment (tabelul X.3), permit recunoașterea și conturarea pălăriei de fier, identificarea mineralelor secundare, tipomorfe și, prin acestea, a paragenezelor de minerale metalice din zona primară a corpului de minereu; conturarea pălăriei de fier este ușurată nu numai de contrastul de culoare față de formațiunile înconjurătoare, dar și de larga sa extindere în suprafață, mai mare decît a corpului de minereu, ca urmare a dispersiei puternice a elementelor în timpul procesului de oxidare.

— **Fragmentele cu minerale utile** din aureolele de dispersie mecanică, provenite prin alterația supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile, dau informații directe asupra tipului de mineralizație, prin examinarea paragenezelor de minerale, ca și asupra

Tabelul X.3

Culorile pălăriilor de fier

Culoarea	Minerale oxidate	Culoarea	Minerale oxidate
Galben, brun, maro, roșu	Mineralele limonitice, sulfați	Verzui	Annabergit, garnierit
Verde, albastru	Carbonați, sulfați, silicați	Galben	Bismutit
Negru	Oxizi și hidroxizi de mangan	Galben deschis	Molibdit, wulfenit
Roz	Eritrină	Galben portocaliu	Cervantit, senarmontit
		Galben deschis, roșu	Plumbojarosit

distanței pînă la afloriment. În acest din urmă caz, se examinează dimensiunea și aspectul exterior al fragmentelor; în apropiere de afloriment se depun fragmentele grosiere și cu greutate specifică mare, pentru ca acelea transportate la distanțe mai mari

să fie rotunjite și cu dimensiuni mai mici (fig. X.20). Dacă se determină *coeficientul de rotunjire* (k) al fragmentelor de minereu, se poate aprecia distanța pînă la afloriment.

$$k = \frac{R}{r},$$

unde: R este raza de curbură maximă a fragmentului; r — raza de curbură minimă a fragmentului.

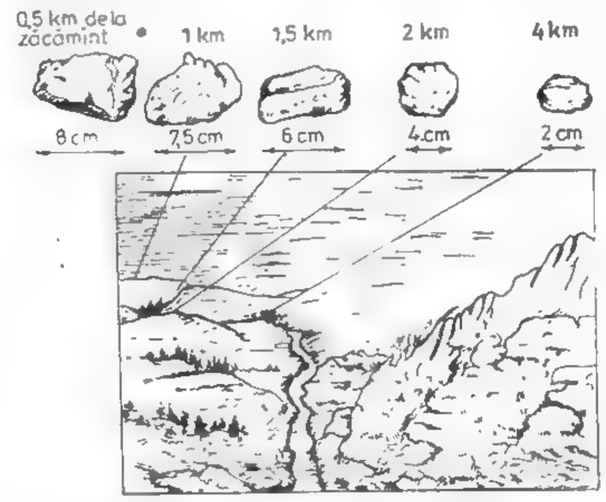


Fig. X.20. Aspectele fragmentelor de minereu transportate la diferite distanțe de afloriment.

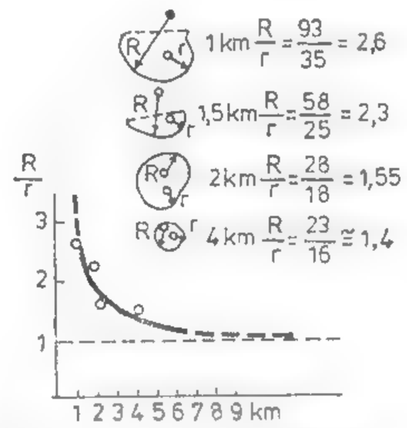


Fig. X.21. Variația coeficientului de rotunjire (k)

Variația coeficientului de rotunjire, în funcție de distanța la care au fost transportate fragmentele de minereu, este redată ca exemplu în fig. X.21; se observă tendința fragmentelor de a deveni sferice, la distanțe mari de afloriment, cînd valoarea coeficientului se apropie de unitate.

— **Concentratele de minerale grele,** obținute prin prelucrarea probelor prelevate din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, eluviale), oferă două categorii de indicații: *directe*, prin mineralele metalice identificate în concentrat (aur, platină, magnetit, ilmenit, zircon, monazit, cromit, diamant etc.) și *indirecte*, pe baza mineralelor nemetalice, tipomorfe, determinate în concentrat (de exemplu beril, turmalină și topaz care pot indica mineralizații de staniu și wolfram).

— **Mîlurile din albia cursurilor de ape** pot fi indicatoare prin proprietatea lor de a reține unele elemente (Pb, Cu, Co etc.), prin sorbție sau schimb de ioni, mobilizate din corpurile de minereuri levigate. În componența mîlurilor apar și asociații de minerale secundare (malachit, ceruzit, psilomelan, minerale limonitice etc.), antrenate din zonele de oxidație ale zăcămintelor primare de către apele curgătoare; este o altă sursă de informații cu privire la existența unor mineralizații în regiune.

— **Izvoarele de ape minerale** și chiar **apele din cursurile rîurilor** sînt indicatoare uneori prin conținutul ridicat în componenți metalici, ca urmare a levigării unor corpuri de minereuri sau a aureolelor de dispersie ale acestora. În general, se consideră

că conținuturile mai ridicate în anumite elemente, față de fondul hidrogeochimic, valorile mai scăzute ale *p*H-ului și valorile mai mari ale ionului sulfat în raport cu cele ale ionului de clor ar indica apropierea de zona mineralizată.

Informațiile indirecte sînt oferite de: metasomatitele din jurul corpurilor de minereuri; plantele indicatoare; aspectele patologice ale plantelor; unele forme de relief.

— **Aureolele de metasomatite din jurul corpurilor de minereuri** au o valoare deosebită pentru prospecțiunea geologică, ele constituind un indicator metalogenetic. Dintre metasomatitele cu rol indicator menționăm: skarne și periskarne, greisene, luxulianite, albitite și metasomatite cu feldspat potasic și biotit, cu care se asociază mineralizații pirometasomatice și hidrotermale de temperatură ridicată; metasomatite filice (cuarț + sericit), uneori cu aspectul lor particular de berezite, cuarțite secundare și jasperoide, metasomatite argilice, metasomatite cu clorit, metasomatite cu adular, metasomatite cu baritină, metasomatite cu alunit, listvenitite și metasomatite carbonatice, însoțite de mineralizații hidrotermale de temperatură medie și scăzută. Unele produse metasomatice sau depuneri la nivelul fisurilor (ca de exemplu acelea legate de propilitizare, spilitizare, serpentinizare, zeolitizare) pot avea extinderi regionale și preced sau succed, ca moment de apariție, procesul de metalizare; ele nu constituie indicatori metalogenetici.

Primele metasomatite sînt surse de informații asupra existenței unor mineralizații în structura geologică prospectată, prin mineralele tipomorfe pe care le conțin (tabelul X.4). Distribuția zonală a variatelor tipuri de metasomatite, pentru care unele mineralizații manifestă anumite preferințe, completează elementele de informație în

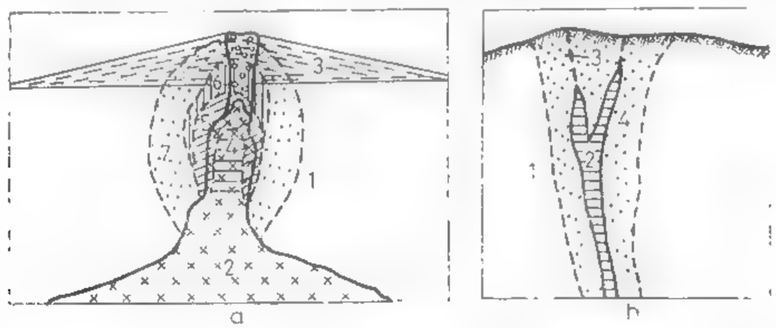


Fig. X.22. Distribuția zonală a metasomatitelor:

a — în cazul unor mineralizații de tip „porphyry": *1* — formațiuni înconjurătoare; *2* — stoc de granodiorite porfirice; *3* — stratovulcan; *4* — metasomatite potasice (neoformațiuni de feldspat potasic și de biotit); *5* — metasomatite filice; *6* — metasomatite argilitice; *7* — metasomatite propilitice (după Sillitoe, 1973, cu modificări);

b — în cazul unor mineralizații filoniene: *1* — formațiuni înconjurătoare propilitizate; *2*—filon; *3*—fractură în extinderea filonului, fără mineralizații; *4*—alterații hidrotermale filice, formate pe un fond de roci propilitizate.

acest sens; o astfel de imagine obținută prin studii de detaliu permite a realiza și prognoza modificărilor calitative pe verticală sau o dezvoltare în adîncime a unui anumit tip de mineralizație (fig. X.22).

— **Plante indicatoare** sînt acele plante a căror dezvoltare într-o anumită regiune este controlată de prezența unor mineralizații. Identificarea acestor plante constituie o primă indicație pentru recunoașterea zonelor mineralizate. Dintre plantele indica-

toare reținem: *Polycarpaea spirostylis* și *Melandrium dioicum* pentru cupru; *Viola calaminaria, Viola tricolor, Thlaspi calaminare, Tomanteria auriculata* pentru zinc; *Amorpha canescens* pentru plumb; *Equisetum arvense* pentru aur; *Astragalus pattersoni* pentru vanadiu și uraniu.

Tabelul X.4

Unii indicatori metalogenetici

Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații	Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații
1. *Skarne*	Fe, Sn, W, Mo, Bi, Pb, Zn, Cu, Au	5. *Minerale tipomorfe din greisene:*	
2. *Minerale tipomorfe din skarne:*		Topaz și turmalină	Sn
		Turmalină	Sn și sulfuri
		Fluorină	W
		Muscovit și fluorină	Mo
Andradit	Fe, Pb, Zn, Co	6. *Metasomatite filice, metasomatite cu feldpsat potasic și biotit*	Cu (Mo, Au) tipul *porphyry*
Andradit-grosular	Cu, W		
Grosular	W		
Grosular și vezuvian	Mo, W	7. *Berezite*	Au
Wollastonit	Bi	8. *Cuarțite secundare*	Cu, Au-Ag în roci eruptive sau Au tip *Carlin* în asociație cu As, Sb, în roci carbonatice
Mn-hedenbergit	Pb, Zn, Cu		
Ludwigit, kotoit, asharit	B		
3. *Greisene*	Sn, W		
4. *Albitite*	Zr, Nb, TR, Th	9. *Matasomatite cu baritină*	Pb, Zn, baritină, witherit
		10. *Jasperoide*	Pb, Zn sau Sb, Hg
		11. *Listvenite*	Cu, Au

— **Aspectele patologice ale plantelor** (plante pitice, plante gigantice, dispariția vegetației, frecvența mare a unor specii de plante, modificarea culorii frunzelor etc.), determinate de prezența sau absența unor ioni în roci și în sol, reprezintă de asemenea elemente indicatoare pentru recunoașterea unor zone cu mineralizații. Astfel, dacă într-o regiune cu formațiuni identice și cu o vegetație specifică apar modificări vizibile în modul de dezvoltare a unor plante, acestea pot sugera existența unor concentrații de substanțe minerale utile în structura geologică prospectată, ca element perturbant de la aspectul normal.

— **Unele forme de relief** atrag atenția, prin modul lor de prezentare, asupra anumitor zone posibil purtătoare de mineralizații. Este cazul *formelor de relief pozitive* date de corpurile de minereuri cu rezistență mai mare la alterația supergenă decît rocile

înconjurătoare, ca, de exemplu, filoanele cuarţoase hidrotermale, filoanele de pegmatite, cuarţitele secundare, adesea mineralizate, cuarţitele cu magnetit (fig. X.23). În situaţii similare se află şi *formele de relief negative* produse prin eroziunea mai avansată a unor corpuri de minereuri faţă de rocile înconjurătoare (fig. X.24) sau prin tasări,

Fig. X.23. Formă de relief pozitivă produsă prin eroziune.

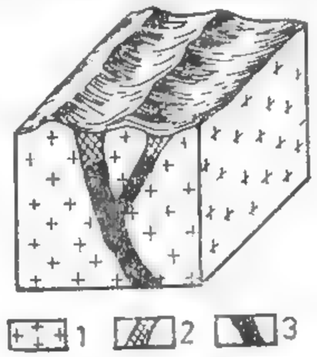


Fig. X.24. Formă de relief negativă produsă prin eroziune:
1 — granite; *2* — minereu oxidat; *3* — minereu primar.

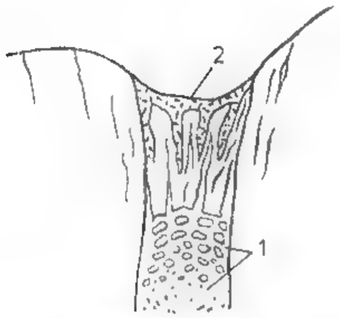


Fig. X.25. Formă de relief negativă produsă prin prăbuşire locală:
1 — minereu oxidat în partea superioară a unui filon cu sulfuri nedeschis de eroziune; *2* — zona superioară rezultată prin prăbuşire ca urmare a oxidării minereului.

chiar prăbuşiri locale (fig. X.25), ca urmare a fenomenelor de oxidare a sulfurilor, ca şi a existenţei unor cavităţi subterane legate de procesul de dizolvare a rocilor carbonatice de către apele de circulaţie subterană.

1.2.2. INDICATORI PROVENIŢI DIN ALTE SURSE

Documentaţiile geologice, muzeele geologice şi populaţia localnică dau, asupra unei regiuni, informaţii privind activitatea geologică şi minieră în trecut, unele ocurenţe de mineralizaţii şi gradul lor de cercetare. În acest sens, datele obţinute prin astfel de surse sînt examinate pe teren, urmărind îndeaproape elementele care le pot oferi lucrările miniere vechi cu haldele lor, urmele de furnale şi chiar semnificaţia denumirii unor localităţi, văi, dealuri şi trecători, desigur, în strînsă corelaţie cu geologia regiunii.

Lucrările miniere vechi (şanţuri, puţuri, galerii) şi haldele lor, existente pe diferitele planuri din documentaţiile geologice, pot oferi o serie de informaţii asupra unor mineralizaţii cercetate în trecut într-o anumită regiune.

Astfel, din dispunerea în spaţiu a lucrărilor de cercetare, corelată cu imaginea structurală a regiunii, se pot obţine următoarele date asupra unui filon sau corp de minereu alungit: direcţia şi înclinarea (fig. X.26); dislocarea pe direcţie prin inter-

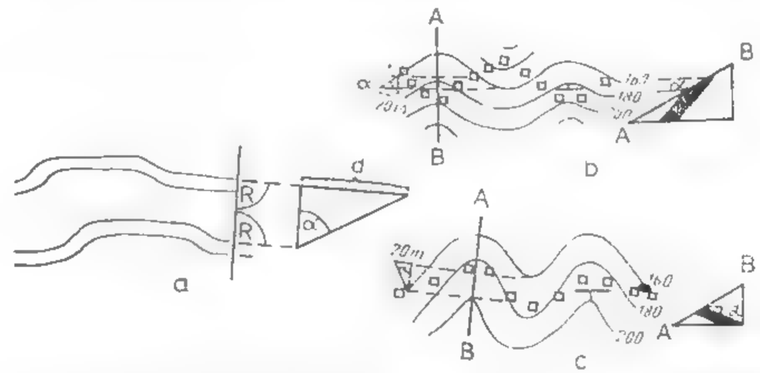


Fig. X.26. Determinarea direcţiei şi înclinării unor filoane pe baza a două galerii săpate la nivele diferite (*a*) sau a unor aliniamente de puţuri orientate diferit în spaţiu (*b* şi *c*):
d — distanţele verticale între cele două nivele de galerii; *α* — unghiul de înclinare al filonului.

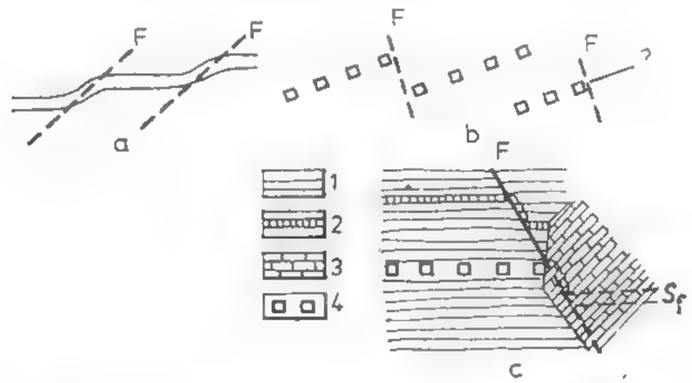


Fig. X.27. Identificarea unor falii urmărind modificarea direcţiei unor galerii (*a*) sau dispunerea în spaţiu a unor linii de puţuri de cercetare (*b* şi *c*):
1 — formaţiuni cristalofiliene; *2* — amfibolite, nivel reper pentru identificarea faliei; *3* — formaţiuni carbonatice mezozoice; *4* — puţuri dispuse pe aliniamente pentru cercetarea unui filon; S_f — segment de filon deplasat prin intermediul faliei şi acoperit de rocile carbonatice; *F* — falie.

mediul unor falii (fig. X.27); existenţa unor porţiuni sterile pe direcţia filonului sau corpului de minereu (fig. X.28); terminaţia prin ramificare sau dislocare pe o anumită porţiune, urmată de posibilitatea reapariţiei corpului de minereu (fig. X.29).

Din poziţia haldelor şi a gurilor de galerii, corelată cu aspectele morfologice ale regiunii şi cu caracterele mineralogice ale fragmentelor de minereu şi roci din halde,

rezultă informații asupra direcției și înclinării (fig. X.30) unui filon, dislocării acestuia de către o falie (fig. X.31) și existenței unei zone de oxidație (fig. X.32); se poate reconstitui necesiunea rocilor traversate de o galerie, ca și poziția mineralizației în coloana litologică (fig. X.33).

Raportul dintre profilul galeriilor și dimensiunile haldelor oferă indicații referitoare la grosimea zăcămîntului: lucrările miniere cu profil mic și cu halde de dimen-

Fig. X.28. Identificarea unor porțiuni sterile pe direcțiile filonului urmărind dispunerea în spațiu a puțurilor de cercetare (după Kuzvarț și Böhmer, 1978, cu completări):

1 — puțuri care au interceptat corpul de minereu; *2* — puțuri care indică porțiuni sterile; *3* — extinderea zonei sterile.

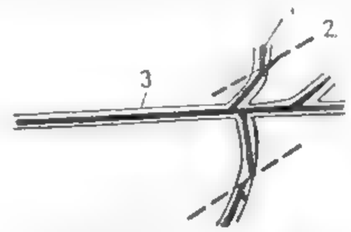


Fig. X.29. Recunoașterea unei terminații prin ramificare sau a unei dislocări cu căracter local a corpului de minereu, urmărind aspectul general al unei galerii:

1 — filon; *2* — falie; *3* — galerie.

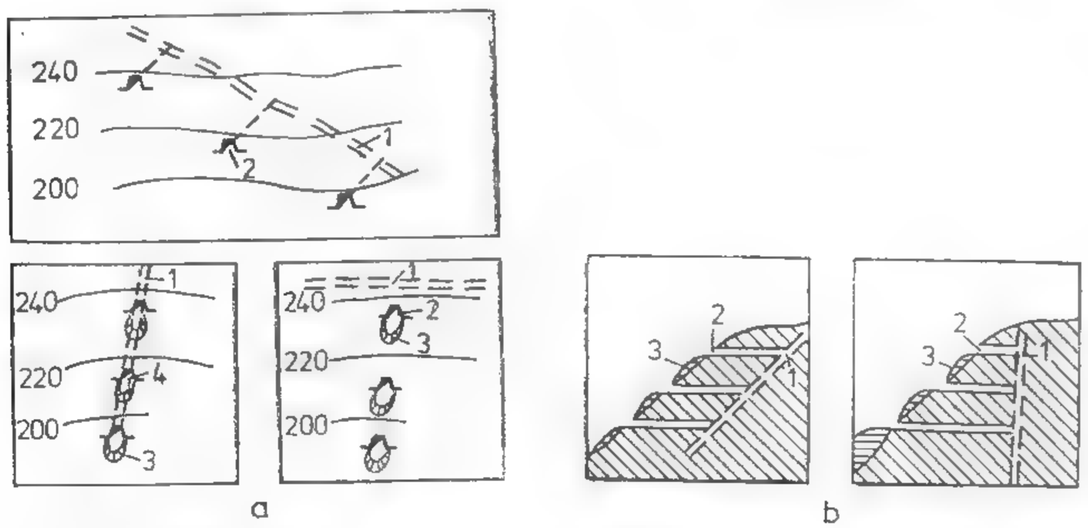


Fig. X.30. Recunoașterea orientării unui filon urmărind poziția haldelor și galeriilor:

a — plan orizontal de suprafață cu amplasamentul galeriilor și direcția filonului; *b* — secțiune verticală în care se văd galeriile transversale și înclinarea filonului:
1 — filon; *2* — galerii transversale; *3* — haldă; *4* — galerii direcționale de coastă.

siuni mari, constituite în cea mai mare parte din steril, indică un zăcămînt cu grosime redusă sau eventual un minereu cu un conținut scăzut, în componenți utili; lucrările

miniere cu profil mare și cu halde de dimensiuni mici, în care mineralizația este abundentă, denotă un corp de minereu cu grosime importantă și cu conținut ridicat în componenți utili.

Urmele de furnale, care apar mai ales în apropierea zăcămintelor, constituie un mijloc sigur de a obține informații referitoare la natura substanțelor minerale utile

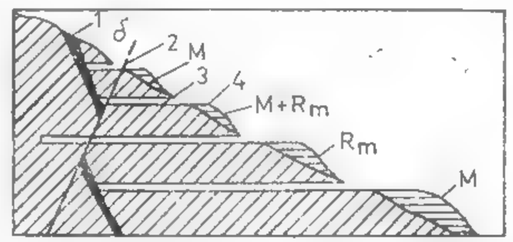


Fig. X.31. Recunoașterea unei falii care dislocă un filon, urmărind dispunerea fragmentelor de minereu și a rocilor milonitizate în halde (după Kuzvart și Böhmer, 1978)

1 — filon; *2* — falie; *3* — galerie transversală; *4* — haldă cu fragmente de minereu (*M*) și roci milonitizate (R_m).

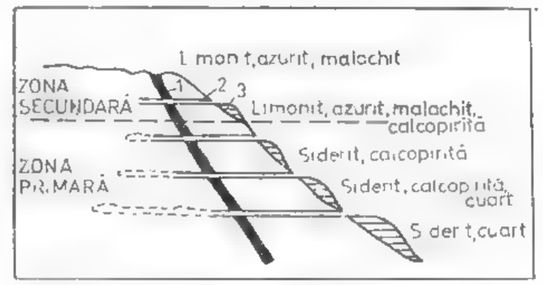


Fig. X.32. Recunoașterea unei zone de oxidație pe baza caracterelor mineralogice ale fragmentelor de minereu (după Kuzvart și Böhmer, 1978):

1 — filon; *2* — galerie transversală; *3* — haldă cu fragmente de minereu.

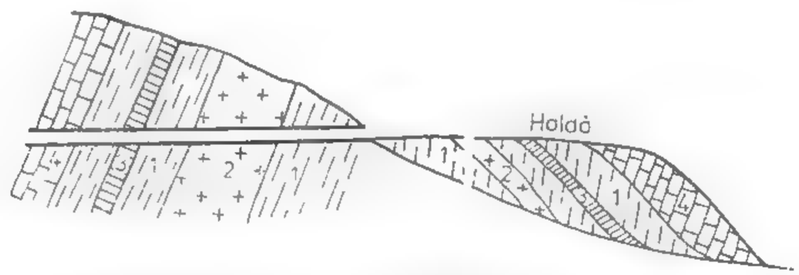


Fig. X.33. Reconstituirea succesiunii rocilor traversate de o galerie pe baza compoziției mineralogice a fragmentelor de minereu și roci din haldă:

1 — șisturi argiloase; *2* — andezite; *3* — minereu; *4* — roci carbonatice.

care au fost exploatate în trecut în regiune. Din compoziția mineralogică și chimică a zgurii rezultă concluzii privind caracterul mineralizației și modul de prelucrare a minereului.

Unele denumiri de localități, văi, dealuri și trecători sugerează fie existența unor exploatări vechi, fie anumite tipuri de substanțe minerale utile, cunoscute în trecut în regiunea care urmează a fi cercetată. Dintre aceste denumiri menționăm: Valea Fierului, Valea Roșie, Izvorul Băilor, Pîrîul Argintăriei, Băița, Baia, Băiuț, Roșia, ș.a.

1.3. METODE GEOLOGICE DE PROSPECȚIUNE

Metodele geologice sînt utilizate în prospectarea resurselor de substanțe minerale utile aflate în variate condiții geologice, dar mai ales a acelora deschise de eroziune.

În funcție de natura observațiilor se pot distinge următoarele metode geologice de prospecțiune:

— prospecțiunea prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale;

— prospecțiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile;

— prospecțiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale grele.

Elementul comun al acestor metode de prospecțiune este cartarea geologică, prin intermediul căreia se elaborează harta geologică, instrument de bază pentru interpretarea geologică a datelor de prospecțiune și, sprijinită de studiile de laborator, pentru conturarea conceptelor necesare cunoașterii perspectivelor și evidențierii unor substanțe minerale utile în structura geologică prospectată.

1.3.1. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ ÎN DESCHIDERI NATURALE ȘI ARTIFICIALE

Lucrările de prospecțiune efectuate prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale (dezveliri, șanțuri, tranșee, puțuri de mînă etc.) au ca obiectiv principal descifrarea structurii geologice și, prin urmare, a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile. În acest scop, cartarea geologică se execută pe hărți topografice la scara 1:25 000—1:20 000 în prospecțiunea preliminară și la scara 1:10 000—1:1 000 în prospecțiunea de detaliu.

Efectuarea cartării geologice. În cartarea geologică se urmărește cu prioritate descifrarea structurii geologice prospectate și identificarea formațiunilor purtătoare de substanțe minerale utile. Pentru aceasta se examinează toate rocile întîlnite în deschiderile naturale și artificiale, stabilindu-se raporturile dintre ele, caracterele petrografice și chimice, conținutul faunistic, poziția stratigrafică și în special acele particularități care le deosebesc sau le apropie unele de altele. Se cercetează amănunțit stratificația rocilor sedimentare și a rocilor slab metamorfozate (filite, șisturi sericitoase, șisturi cloritoase, cuarțite etc.), pseudostratificația intruziunilor bazice și ultrabazice, relațiile dintre planul de șistozitate și planul de stratificație la rocile epimetamorfice, poziția planului de curgere a lavelor, poziția și natura enclavelor din intruziune sau lave, poziția și caracterele petrografice ale produselor piroclastice din complexele vulcanogene, ca și budinajul, clivajul, sistemele de fracturi și falii. În general, astfel de investigații sînt dublate de analize microstructurale și microtectonice, care oferă elemente suplimentare pentru descifrarea structurii geologice.

În paralel cu cartarea geologică se examinează cu atenție elementele care dau indicații directe sau indirecte asupra existenței unor concentrații de substanțe minerale utile (v. 1.2. Indicatorii în prospecțiunea geologică). De regulă, concentrațiile de minerale utile sînt localizate pe planele de foliație și de liniație din corpurile eruptive, bazice și ultrabazice, pe planele de stratificație și de șistozitate ale rocilor sedimentare și metamorfice, pe variate sisteme de fracturi și la intersecția acestora, în rocile cu permeabilitate mare, cu rol de capcană, în care procesele de metasomatoză și de umplere a golurilor sînt active, în zonele de exfoliere a cutelor etc.

Datele cartografice bazate pe observațiile directe în deschideri naturale și artificiale, și completate cu studiile de laborator, se reprezintă prin diferite simboluri pe harta topografică, conducînd în final la *harta geologică*. Cercetarea mai multor deschideri și întocmirea *coloanelor stratigrafice* sau *secțiunilor tip*, ca anexe ale hărții geologice, oferă o imagine asupra succesiunii stratigrafice și asupra variațiilor laterale privind litologia, intensitatea mineralizației și grosimea formațiunilor prospectate. Corelarea între diferitele strate sau chiar formațiuni purtătoare de substanțe minerale utile se realizează pe baza caracterelor petrografice, fosilelor caracteristice și poziției față de un orizont reper dintr-o succesiune stratigrafică; în cazul cînd nu există alte elemente indicatoare, corelarea devine posibilă pe baza asociației de elemente minore sau pe baza datelor de cronometrie absolută.

Luarea probelor. În paralel cu cercetarea deschiderilor naturale și artificiale se prelevează probe mineralogice, petrografice și chimice, necesare investigațiilor de laborator în scopul fundamentării interpretărilor geologice de teren; este o operație integrată cartării geologice.

Probele mineralogice și *petrografice* se iau în așa fel, încît să cuprindă asociațiile caracteristice de minerale din rocă sau mineralizația respectivă. Obișnuit se recoltează o probă mai mică pentru o secțiune subțire sau lustruită și una mai mare, care reprezintă proba martor. Din rocile sedimentare se prelevează și probe pentru analize granulometrice și paleontologice.

Probele chimice se iau din roci, în vederea studiilor petrochimice, și din mineralizațiile identificate, pentru stabilirea conținutului în componenți utili, principali și accesorii. În acest din urmă caz se iau *probe informative* (cu bucata), *probe prin brazde* sau *probe prin răzuire*, în funcție de caracterele texturale ale mineralizației (masiv, brecios, rubanat, impregnații, cuiburi, rețea de filonașe), de caracterul repartiției componenților utili și extinderea zonei mineralizate.

Probele informative reprezintă bucăți de minereu sau de rocă cu minerale utile desprinse din diferite puncte ale aflorimentului sau deschiderii artificiale; greutatea acestora va fi de cîteva sute de grame. Probarea prin brazde constă din luarea unei cantități de material de-a lungul unui șanț orientat perpendicular pe zona mineralizată; lățimea șanțului va fi de circa 7 cm, iar adîncimea de 2—5 cm. Cantitatea de material prelevat se fărămițează, se amestecă și apoi se reduce prin metoda sfertuirii; operația se repetă pînă cînd se obține o cantitate de cîteva sute de grame, necesară analizei de laborator. În probele luate prin răzuire intră întreg materialul detașat de pe suprafața mineralizată a deschiderii naturale sau artificiale; adîncimea de răzuire este de 3—5 cm, mai rar 10 cm, iar greutatea inițială a probei depinde de suprafața și adîncimea de răzuire.

Dacă probarea prin brazde se utilizează în cazul mineralizațiilor cu cele mai variate aspecte texturale și morfologice, ca și în cazul haldelor existente în regiunea prospectată, în schimb probarea prin răzuire se aplică la concentrațiile de substanțe minerale utile cu o repartiție foarte neuniformă a componenților utili și la filonașele cu grosimi mai mici de 10 cm, indiferent de dispoziția lor în spațiu.

Întocmirea hărții geologice. Datele de teren conduc treptat la conturarea unităților cartografice (serii, complexe, orizonturi, corpuri eruptive etc.) și la trasarea limitelor dintre acestea pe harta topografică. Pe baza poziției stratificației, șistozității, liniației și axelor de microcute sînt reprezentate elementele structurale ale regiunii (anticlinalele, sinclinalele, falii, linii de șariaj). Ocurențele de substanțe minerale utile

vor fi redate pe hartă şi corelate cu elemente structurale şi cu formaţiunile înrudite genetic sau asociate spaţial.

Probele prelevate sînt studiate în laborator sub aspect mineralogic (optic, roentgenografic, analiză termică diferenţială, microscopie electronică, spectrografie, microsondă electronică, fluorescenţă în raze X), petrografic şi chimic, în vederea definitivării hărţii geologice şi explicării genezei formaţiunii purtătoare de concentraţii de substanţe minerale utile şi structurii geologice a regiunii. Conţinutul în componenţi utili se determină prin analiza chimică a probelor cu mineralizaţii.

Rezultatele obţinute în urma elaborării hărţii geologice, a întocmirii coloanelor stratigrafice, secţiunilor geologice, schiţelor, bloc-diagramelor şi, prin urmare, a interpretării datelor geologice constau în următoarele:

— identificarea unor concentraţii de substanţe minerale utile;

— descifrarea structurilor geologice prospectate şi aprecierea gradului de perspectivă a acestora privind existenţa unor substanţe minerale utile;

— conturarea zonelor în care urmează să se execute lucrări complexe de prospecţiune geologică, geofizică, geochimică şi chiar geobotanică sau să se amplaseze lucrări miniere, uneori foraje, care să conducă la identificarea, în structurile geologice nedeschise de eroziune, a unor concentraţii de substanţe minerale utile;

— interpretarea geologică a informaţiilor obţinute, prin utilizarea altor metode de prospecţiune.

1.3.2. PROSPECŢIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA FRAGMENTELOR CU MINERALE UTILE

Această metodă se bazează pe posibilitatea formării unor aureole de dispersie secundară ca urmare a acţiunii de dezagregare, transport şi depunere la care sînt supuse zăcămintele de minereuri sau aureolele primare ale acestora.

În principiu, metoda constă în stabilirea frecvenţei fragmentelor cu minerale utile din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, proluviale şi glaciare) generate de corpurile de substanţe minerale utile, în scopul identificării şi conturării zonelor în care apar zăcămintele *in situ*.

Cercetarea aluviunilor se realizează prin sfărîmarea cu ajutorul ciocanului a tuturor fragmentelor întîlnite şi prin identificarea unor minerale utile (casiterit, cromit, magnetit etc.) sau a unor minerale indicatoare directe sau indirecte (beril, topaz, turmalină, ceruzit, anglezit etc.), privind existenţa în regiune a anumitor mineralizaţii.

După reperarea unor astfel de fragmente cu minerale utile se trece la stabilirea frecvenţei acestora pe vale, în amonte şi la conturarea aureolei dispersie mecanică. Dezvoltarea şi persistenţa aureolelor aluviale depind de o serie de factori. Astfel, distanţa de transport este direct proporţională cu viteza de curgere a apelor şi înclinarea pantelor şi invers proporţională cu dimensiunea materialului transportat şi cu debitul apelor. În acest sens dimensiunile fragmentelor şi gradul lor de rotunjire pot constitui o primă indicaţie asupra distanţei pînă la afloriment, prin aceea că se consideră că zăcămîntul se va găsi în zona în care acestea sînt mai colţuroase, mai mari şi mai numeroase, adică în imediata apropiere a limitei superioare a aureolei mecanice.

În cazul unor depozite deluviale, proluviale şi eluviale prospecţiunea preliminară se realizează în acelaşi mod ca şi pentru aluviuni; după identificarea fragmentelor cu minerale utile, se trece la urmărirea frecvenţei acestora pe pantă în sus de-a lungul unor aliniamente cu echidistanţă de 5—10 m, orientate perpendicular pe o direcţie reper sau de bază.

Pe harta topografică se redau prin simboluri diferite, în punctele în care au fost găsite fragmentele respective, mărimea acestora şi tipurile de minerale utile pe care le conţin. Pe baza acestor date se conturează aureola de dispersie mecanică.

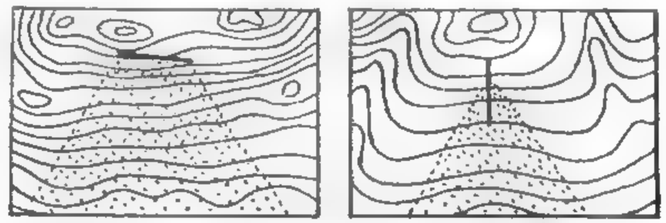


Fig. X.34. Forma aureolelor deluviale şi proluviale :

Aureolele deluviale şi proluviale au forme trapezoidale, triunghiulare sau liniare mai mult sau mai puţin continue şi cu o dezvoltare asimetrică în raport cu poziţia sursei care le-a generat (fig. X.34).

Aureolele eluviale se dezvoltă pe suprafeţe restrînse şi, în general, simetrice faţă de corpurile mineralizate.

În cercetarea depozitelor glaciare o atenţie deosebită este acordată morenelor frontale, laterale şi de fund, care reprezintă zonele cele mai favorabile pentru identificarea de fragmente cu minerale utile. Frecvenţa acestora se urmăreşte în lungul unor profile sau aliniamente transversale pe direcţia de deplasare a gheţarului, la intervale de 1—1,5 km.

Aureola glaciară delimitată pe harta topografică, pe baza punctelor în care s-au găsit blocuri cu minereu, prezintă, în general, forma unui evantai în al cărui vîrf se situează, de regulă, corpul de substanţă minerală utilă.

În toate cazurile menţionate, identificarea zăcămintelor în zonele indicate de prospecţiunea prin cartare geologică a fragmentelor cu minerale utile se va face prin executarea de dezveliri, şanţuri şi puţuri. Amplasarea judicioasă a acestor lucrări impune efectuarea în prealabil, în aceste zone, a unei cercetări prin metode geofizice sau geochimice.

1.3.3. PROSPECŢIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA CONCENTRATELOR DE MINERALE GRELE

Această metodă de prospectare geologică are în vedere determinarea frecvenţei mineralelor grele în cadrul aureolelor de dispersie mecanică sau a depozitelor detritice formate pe seama zăcămintelor sau a aureolelor primare ale acestora. Ea poate evidenţia pe de o parte existenţa unor concentraţii detritice, iar pe de altă parte zonele care constituie sursa generatoare.

Mineralele rezistente la alterare sînt transportate, îndeosebi de ape, la distanţe mai mari sau mai mici faţă de sursă, în funcţie de greutatea specifică şi de dimen-

siunea acestora, precum și de viteza agentului de transport. Dacă primele două elemente prezintă valori mai ridicate, acumularea mineralelor se va realiza în apropierea aflorimentelor din care au provenit prin dezagregare. În cazul în care aceste elemente au valori mai scăzute, depunerea mineralelor se va face mult mai departe de aflorimente, în zonele unde au loc modificări ale vitezei de curgere a apelor (confluențe, meandre etc).

În stadiul prospecțiunii preliminare se urmărește identificarea principalelor zone cu astfel de aureole de dispersie mecanică și a unor indicații privind existența mineralizației. Totodată se examinează asociațiile de minerale indicatoare care, printre ale tele, pot contribui la elucidarea unor procese petrogenetice și metalogenetice, precum și a adîncimii optime de recoltare a probelor.

În stadiul prospecțiunii de detaliu se conturează cît mai exact aureolele mecanice, astfel încît să se poată trage concluzii cu privire la posibilitatea de valorificare a acestora și la localizarea zăcămintelor.

Operațiile indispensabile acestei metode de prospecțiune sînt: probarea, examinarea concentratelor de minerale grele și întocmirea hărților.

Luarea probelor. Una din condițiile importante ale acestei operații este ca punctele de probare să acopere în mod uniform suprafața prospectată. În cazul probelor cu caracter informativ, pentru depozitele aluviale, acestea se iau cu lopata, direct din albia rîurilor sau din gropi săpate la adîncimi cît mai mari. În situația unei cercetări sistematice, probele se colectează din șanțuri, puțuri și prin intermediul forajelor manuale amplasate pe aliniamente orientate perpendicular pe cursul rîului. Numărul de probe pe 100 km² variază în funcție de scara la care se face prospecțiunea (100—500 probe pentru 1: 50 000, 1 200—2 500 probe pentru 1: 10 000 etc.).

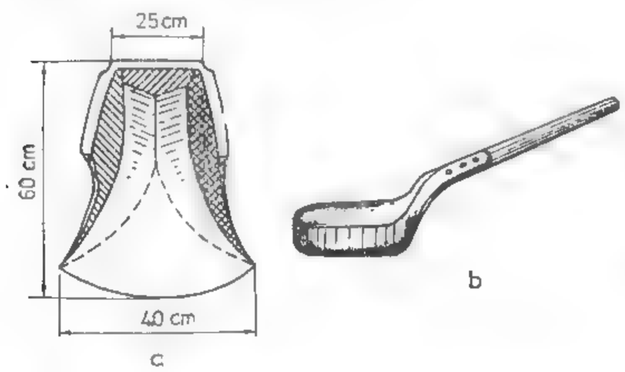


Fig. X.35. Șaitroc din lemn (*a*) și căuș de oțel (*b*).

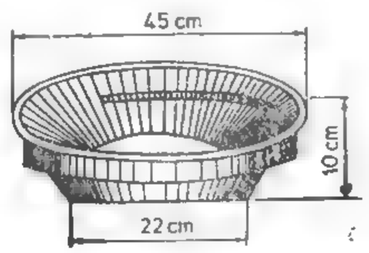


Fig. X.36. Troc Banka

Din depozitele deluviale, proluviale și eluviale, probele se colectează din gropi adînci de 30—50 cm, săpate la intervale de 25—50 m, pe aliniamentele distanțate la 100 m sau mai apropiate (10—20 m și respectiv 30—50 m), în cazul unor cercetări mai detaliate.

Probele prelevate se cîntăresc și apoi se spală cu ajutorul diferitelor tipuri de trocuri (șaitroc, căuș) cînd acestea nu depășesc greutatea de 2 kg (fig. X.35). Cantități mai

mari se pot spăla cu hurca, herdul sau trocul Banka (fig. X.36). Operația de spălare se execută în mai multe etape, pînă la obținerea concentratului de minerale grele în greutate de 10—15 g. În regiunile cu precipitații reduse se poate utiliza, pentru realizarea concentratelor de minerale grele, un curent de aer.

Examinarea concentratelor. Studierea concentratelor de minerale grele se face în laboratoare, unde probele sînt supuse unei selecții pe fracțiuni, în vederea stabilirii naturii mineralelo grele, a frecvenței acestora și a sursei de proveniență.

Inițial probele sînt analizate informativ prin metode spectrale, radioactive și în imersie; urmează analiza granulometrică pe baza căreia se realizează diferitele fracțiuni de minerale ce vor fi supuse la separări magnetice, electromagnetice și cu ajutorul lichidelor grele. Fiecare fracțiune este examinată la binocular sau la microscop, pentru a stabili compoziția mineralogică, paragenezele și frecvența mineralelor utile.

Întocmirea hărților. Datele rezultate din studiile de laborator se reprezintă pe un plan topografic, la aceeași scară cu harta geologică, utilizînd metoda punctelor, metoda cercurilor sau metoda benzilor (fig. X.37).

În cazul primei metode locurile de probare sînt redate pe plan prin puncte, alături de care se trec inițialele mineralului util identificat; prin acest procedeu nu se pot obține informații referitoare la frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, *a*).

În cazul celei de a doua metode, locurile de probare sînt marcate pe plan prin cercuri cu diametre proporționale cu greutatea concentratelor de minerale grele; suprafețele acestora sînt divizate în sectoare, în funcție de numărul și frecvența mineralelor utile (fig. X, 37, *b*).

Cea de a treia metodă presupune reprezentarea datelor sub forma unor benzi, lățimea acestora fiind direct proporțională cu frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, *c*).

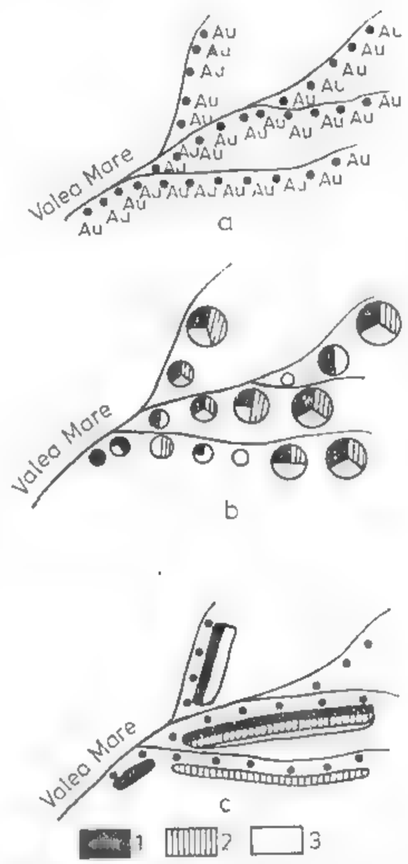


Fig. X.37. Reprezentarea datelor cartării geologice pe baza concentratelor de minerale grele :

a — metoda punctelor; *b* — metoda cercurilor; *c* — metoda benzilor; *1* — aur; *2* — casiterit; *3*—scheelit.

Ultimele două metode permit conturarea aureolelor de dispersie mecanică, pe baza cărora se pot delimita zonele de interes economic și localizarea surselor generatoare. În astfel de zone se execută dezveliri, șanțuri și puțuri. Pentru a spori eficiența acestor lucrări, amplasarea lor se va face după o prealabilă investigare geofizică și geochimică.

2. PROSPECŢIUNEA GEOFIZICĂ

În limbajul curent se identifică foarte frecvent activitatea geologică cu Geologia ca geoştiinţă. Aceste două noţiuni nu trebuie însă confundate deoarece prima are o sferă mult mai largă de conţinut.

Geologia reprezintă geoştiinţa care pe baza studierii directe, nemijlocite, a rocilor şi a raporturilor vizibile dintre formaţiunile geologice, elaborează şi stabileşte ipoteze, concepte, teorii, regularităţi şi legităţi cu privire la structura ascunsă a scoarţei terestre, la evoluţia acesteia în trecutul geologic, precum şi la geneza, migrarea şi acumularea în zăcăminte a materiilor prime minerale sau a purtătorilor de energie primară (combustibili fosili şi hidrostructuri geotermale). Definitorie pentru geologie este aşadar *informaţia directă*.

Acolo unde observaţia directă la suprafaţă nu este posibilă datorită faptului că structura geologică ce prezintă interes este mascată de formaţiuni geologice sau de mase de roci cu raporturi de discordanţă faţă de aceasta, intervin ştiinţele tehnice — forajul şi minieritul — care oferă posibilitatea studierii geologice a probelor de roci aduse la suprafaţă prin carotajul mecanic al găurilor de sondă sau a observării directe în subteran a rocilor ori substanţelor minerale utile deschise prin lucrările miniere.

Pe măsură ce zăcămintele situate la adîncimi mici s-au epuizat sau sînt în curs de exploatare şi a devenit necesară descoperirea celor situate la mari adîncimi, prin intrarea în incidenţa interesului a acumulărilor de substanţe utile din domeniul marin ca şi în orice alte situaţii în care apar interdicţii de o anumită natură care fac imposibilă observaţia geologică directă, devine necesară intervenţia unei alte geoştiinţe şi anume a Geofizicii. Caracteristic acestei geoştiinţe este *informaţia indirectă* asupra structurii geologice ascunse a subsolului şi a bogăţiilor minerale pe care ea le conţine.

Această informaţie indirectă reprezintă de fapt un răspuns sau un mesaj de natură fizică a subsolului, ca rezultat fie a unui fenomen provocat de către geofizician în vederea studiului (introducerea unui curent electric în subsol, crearea unui cîmp de unde elastice etc.), fie a unui fenomen natural cum este gravitatea, geomagnetismul, radioactivitatea terestră, cîmpul geotermic etc.

Mijloacele de investigaţie, tehnicile de lucru şi aparatura proprie cercetărilor geofizice s-au diversificat şi rafinat continuu, aşa încît astăzi aceste cercetări se pot efectua pe sol în orice regiune a Pămîntului, în mine şi găuri de sondă, în aer, pe apă şi pe fundul mării, cu alte cuvinte practic nu mai există condiţii de lucru legate de relieful, clima sau învelişul Pămîntului care să fie restrictive, limitative sau ostile executării acestora.

Privind retrospectiv progresul de-a dreptul spectacular pe care l-a înregistrat această geoştiinţă în ultimele cîteva decenii, apare clar că la acesta au contribuit schimbările care au avut loc în lumea contemporană dintre care vom menţiona ca mai importante următoarele trei:

Prima este legată de problema asigurării continue cu materii prime minerale, combustibili şi energie, problemă care se ridică cu atît mai acut cu cît modelul de civilizaţie şi de progres economic adoptat de majoritatea omenirii presupune un consum din ce în ce mai mare de astfel de resurse. Aşa dar, un prim impuls al progresului în acest domeniu a provenit din necesitatea de a satisface „foamea de metal" a omenirii, de găsire de soluţii pentru a preîntîmpina o eventuală penurie de energie şi alte aspecte cu care este confruntată societatea umană contemporană.

Cea de-a doua este reprezentată de intrarea omenirii în era spaţială. Pînă atunci frontierele tradiţionale ale geofizicii încorporau investigaţii la suprafaţa solului sau la adîncimi mici de ordinul pînă la cîteva mii de metri, iar dezvoltarea ei se referea îndeosebi la studierea unor întinderi din ce în ce mai mari ale Pămîntului şi la intensificarea gradului de detaliere a studiilor întreprinse. Posibilităţile noi oferite de determinarea din sateliţi a cîmpurilor fizice terestre, introducerea teledetecţiei ca şi a altor procedee noi de cercetare au lărgit considerabil frontierele acestei activităţi, deplasînd răspunsurile referitoare la structurile ascunse ale subsolului la cu totul alte nivele de profunzime decît cel devenit clasic, îmbogăţind şi diversificînd în ultimă instanţă natura şi conţinutul geologic al informaţiilor geofizice. În acelaşi timp, evoluţia Geofizicii către Planetofizică din necesitatea determinării cîmpurilor de atracţie, magnetic şi radioactiv, seismicitatea şi alte fenomene fizice, mai întîi a Lunii şi apoi a unor planete, a dus la realizări sau adaptări de aparatură de măsurare cu performanţe din ce în ce mai ridicate; din această circulaţie în dublu sens, prospecţiunea geofizică a avut de cîştigat nu numai în ceea ce priveşte aparatura de măsurare şi tehnica de lucru ci şi din punctul de vedere al prelucrării şi interpretării mărimilor măsurate.

În fine, o mare influenţă asupra activităţii geofizice a avut-o impactul calculului electronic. Acesta s-a manifestat, în condiţiile perfecţionării continue a calculatoarelor electronice, în sofisticarea aparaturii de măsurare din punctul de vedere al principiilor pe care se bazează obţinerea informaţiilor referitoare la structurile geologice şi la acumulările de substanţe minerale utile, ca şi al sistemelor de înregistrare şi redare a acestor informaţii, al calibrării, etalonării şi depanării unor astfel de echipamente, precum şi în posibilitatea prelucrării unor volume mari de date la un nivel fizico-matematic net superior.

Ca urmare, schimbările survenite în domeniul acumulării, transmiterii şi difuzării informaţiilor geofizice, ca şi gradul tot mai ridicat de rafinament al datelor, din punctul de vedere al obţinerii precum şi din acela al prelucrării şi interpretării lor au contribuit la accelerarea ritmului cercetării geofizice şi la lărgirea frontierelor preblematicii geologice privind baza de materii prime minerale şi de surse de energie.

Cunoaşterea aprofundată a metodelor de prospecţiune geofizică, folosirea adecvată a acestora şi interpretarea corectă a informaţiilor obţinute reprezintă în fapt cele trei laturi inseparabile şi care se condiţionează reciproc pentru rezolvarea complexelor probleme ce se pun prospecţiunii, determinarea formelor structurale ale rocilor şi a condiţiilor favorabile de acumulare a substanţelor minerale utile în zăcăminte, integrarea acestora în ansamblul şi caracteristicile structurii geologice regionale şi locale şi, în ultimă instanţă, creşterea eficienţei economice a activităţii de prospectare a subsolului.

După cum este cunoscut (Gavăt et al., 1973), interpretarea geologică a informaţiei geofizice urmăreşte să clarifice problemele de legătură dintre rezultatele prospecţiunilor geofizice şi geologice, în scopul descifrării pe cale indirectă a structurii geologice ascunse a subsolului şi a îmbogăţirii gradului de cunoaştere geologică a acestuia. Întreaga experienţă acumulată în cei peste 60 de ani de activitate geofizică românească de către toate generaţiile de ingineri geofizicieni a contribuit la adîncirea, diversificarea şi rafinarea interpretării geologice a informaţiei geofizice, făcînd din aceasta un domeniu de tradiţie în ţara noastră.

Privit prin prizma teoriei comunicaţiei, procesul de interpretare geologică a informaţiei geofizice dezvăluie unele aspecte, conţinuturi şi semnificaţii noi, atît teoretice cît şi practice, asupra cărora ne vom referi pe scurt în cele ce urmează.

Considerată la un nivel de largă generalitate, prospecţiunea geofizică poate fi definită ca activitatea de obţinere la suprafaţa solului, a apei sau în aer a unor sem-

nale — naturale sau provocate aşa cum a fost precizat mai înainte — cu o semnificaţie fizică net diferită şi care poartă în ele informaţii de la structura geologică ascunsă a subsolului, prelucrarea acestor semnale şi interpretarea lor în termeni geologici. Sub aspect fizic, nici o apropiere nu se poate face între natura acestor semnale utilizate în diferitele metode geofizice. Într-adevăr, cum am putea găsi o cît de mică asemănare între, să zicem, cîmpul electric generat prin polarizaţie naturală de un zăcămînt de sulfuri polimetalice şi vibraţia solului creată de sosirea la suprafaţă a unei unde elastice reflectată de un strat de cărbune din subsol, între oricare din acestea două şi intensitatea radiaţiei naturale produsă de o mineralizaţie de elemente rare şi disperse ş.a.m.d.

Şi totuşi, dacă analizăm cu atenţie ceea ce de fapt reprezintă prospecţiunea geofizică constatăm că astfel de semnale, indiferent de fenomenul fizic care le provoacă, satisfac o relaţie unică pe care putem să o numim *ecuaţia generală a prospecţiunii geofizice* şi care poate fi exprimată analitic ca

$$S(x, y, o, t) = I(x, y, z, t) * G(x, y, z, t) + Z(x, y, z, t).$$

În această relaţie:

$S(x, y, o, t)$ reprezintă semnalul geofizic recepţionat la suprafaţa solului terestru sau a mării şi care în cazul prospecţiunilor aerogeofizice efectuate la un plafon de zbor z devine $S(x, y, -z, t)$;

$I(x, y, z, t)$ este informaţia geofizică generată de obiectul geologic de prospectat — formă structurală sau acumulare de substanţe minerale utile — şi a cărei definire o vom face mai departe;

$G(x, y, z, t)$ este o funcţie care depinde de caracteristicile mediului geologic prin care se propagă informaţia geofizică, cum sînt de exemplu reflectivitatea, transmisivitatea, atenuarea, absorbţia, ecranarea, semnale adiţionale provenite de la alte obiecte geologice învecinate sau de la elemente geomorfologice de suprafaţă şi altele;

$Z(x, y, z, t)$ defineşte zgomotul, considerat în general ca avînd un caracter aleator, dar care în realitate nu întotdeauna are această caracteristică.

În relaţia de mai sus, x, y şi z simbolizează variabilele spaţiale într-un sistem cartezian de coordonate, iar t variabila temporală.

În acord cu această relaţie, semnalul geofizic de care ia act geofizicianul la efectuarea măsurătorilor reprezintă convoluarea informaţiei geofizice pe care caută să o determine cu o funcţie de transfer care depinde de mediul geologic şi la care se adaugă un zgomot inerent oricărui proces de comunicaţie. Particularizarea acestei ecuaţii generale la oricare din metodele, tehnicile sau variantele de prospecţiune geofizică, se poate face fără dificultăţi.

Rezultă, din cele de mai sus, că problema fundamentală a prospecţiunii geofizice este de fapt aceea de a determina cît mai exact pe $I(x, y, z, t)$, respectiv informaţia geofizică, cunoscînd semnalul geofizic determinat experimental $S(x, y, o, t)$ sau $S(x, y, -z, t)$ şi evaluînd sau aproximînd funcţiile $G(x, y, z, t)$ şi $Z(x, y, z, t)$. Cu alte cuvinte, problema fundamentală a prospecţiunii geofizice este de a stabili cantitativ informaţia geofizică provenită de la obiectul geologic de prospectat; odată determinată aceasta, şi numai în condiţiile unui grad de încredere foarte ridicat asupra realităţii ei, se poate trece la interpretarea geologică a informaţiei geofizice.

Să vedem acum ce semnificaţie poate avea noţiunea de informaţie geofizică.

Termenul de *informaţie*, folosit adesea în limbajul curent cu sensuri diferite (ştire, veste, noutate, anchetă, anunţ, confidenţă etc.), reprezintă de fapt o noţiune de largă

generalitate. Ca şi alte noţiuni de acelaşi fel, ea nu se poate defini sau, în orice caz, nu acceptă o definiţie simplă din cauza sensurilor diferite în care este utilizată. Ea poate căpăta însă un sens dacă îi asociem şi domeniul la care se referă, de exemplu informaţie istorică, informaţie economică etc. sau, în cazul nostru, informaţie geofizică; analizînd însă cu atenţie această problemă ajungem la concluzia că nu există o altă atitudine posibilă decît o alegere „a priori" a definiţiei pentru această noţiune. Stabilesc aşadar prin convenţie că *informaţia geofizică reprezintă suportul material al mesajelor fizice şi geologice raportabile la structura geologică ascunsă a subsolului şi la acumulările de substanţe minerale utile pe care aceasta le conţine.*

Adoptînd această definiţie, cu semnificaţie de suport material al unor răspunsuri sau mesaje care provin de la obiectele geologice din subsol, reiese clar că înţelegem prin informaţie geofizică orice reprezentare concretizată în profile, hărţi, secţiuni, diagrame, histograme şi alte tipuri de grafice folosite în prospecţiunea geofizică. În această formă, şi numai în aceasta, informaţia geofizică poate fi interpretată în termeni geologici, cu alte cuvinte i se poate descifra şi înţelege mesajul pe care îl poartă de la structura geologică ascunsă a subsolului.

2.1. POSIBILITĂŢI ŞI LIMITĂRI FIZICE, GEOLOGICE ŞI ECONOMICE ALE UTILIZĂRII PROSPECŢIUNILOR GEOFIZICE

„Mineritul şi metalurgia s-au născut împreună deoarece amîndouă au comune o serie de domenii reprezentate fie de discipline fundamentale, fie de discipline ajutătoare" scria Kögler (1929) în prefaţa la prima ediţie a binecunoscutului manual practic de minierit apărut sub coordonarea sa.

Chiar dacă nu se poate spune acelaşi lucru despre industria minieră şi geoştiinţele aplicate — geologia şi, mai recent, geofizica — este clar că între acestea există multe discipline comune şi, mai ales, puternice relaţii de interdependenţă. Pe de o parte, dezvoltarea industriei miniere se bazează pe progresul ce se realizează în aceste geoştiinţe; aceasta priveşte posibilităţile de detectare a acumulărilor de diferite substanţe minerale utile care nu-şi trădează prezenţa lor în adîncime prin manifestări sau indici de suprafaţă, explorarea acestora pînă la atingerea unui grad de cunoaştere care să asigure confirmarea de rezerve în bilanţ pe care să se poată fundamenta investiţiile, stabilirea tehnologiilor de extracţie şi de preparare pentru recuperarea cît mai completă a componenţilor utili etc.

În acest proces complex de atragere în circuitul economic a noi zăcăminte de substanţe minerale utile sau de purtători de energie primară, activităţile geologică, geofizică şi minieră se împletesc în mod armonios şi se sprijină reciproc.

Pe de altă parte, geologia şi geofizica sînt beneficiare ale activităţii miniere deoarece pe măsură ce avansează exploatarea zăcămintelor creşte şi gradul de cunoaştere geologică a acestora, se confruntă şi se verifică ipotezele şi modelele elaborate în faza de prospecţiune şi îmbunătăţite în cea de explorare. Mai mult decît atît, se rezolvă această situaţie paradoxală a cunoaşterii geologice şi anume că un zăcămînt devine cu adevărat cunoscut în toată complexitatea lui — formă exactă, dimensiuni, gradul de mineralizare şi variaţiile acestuia, distribuţia elementelor însoţitoare şi tipul lor, relaţiile cu rocile care îl găzduiesc etc. — în momentul în care exploatarea lui s-a încheiat, deci a ieşit din incidenţa interesului economic. Aceasta nu înseamnă însă

că interesul lui scade pentru geologie; din contra, abia cînd această cunoaștere este asigurată se pot stabili cu adevărat legitățile de geneză și acumulare a mineralizației în condițiile concret specifice ale structurii geologice regionale și locale, se pot stabili condiționările fizico-geologice care au determinat reflectări ale acestuia de o anumită natură și de un anumit tip în mărimile fizice care au reprezentat informațiile indirecte etc. Toate acestea duc la progresul geoștiințelor, la îmbunătățirea metodelor și tehnicilor de lucru ce vor fi aplicate în condiții fizico-geologice și de geneză asemănătoare, ceea ce va avea ca efect final creșterea eficienței activității de prospectare a subsolului. Iată de ce, acest schimb de informații în dublu sens, dintre industria minieră și geoștiințe, nu numai că este în beneficiul reciproc al acestora dar creează și interdependența dintre ele la care ne-am referit mai sus.

Acestea sînt principalele elemente obiective care stau la baza cooperării dintre minierit și geoștiințe în general și, prospecțiunea geofizică, în particular. Și, ca în orice domeniu de cooperare, cu cît aceasta este mai adîncită, cu cît aportul părților este mai bogat în conținut și mai mare cantitativ, cu atît și rezultatele acesteia vor fi mai importante în beneficiul ambelor părți. De aceea, cunoașterea și înțelegerea de către inginerul de mine a posibilităților și limitărilor metodelor geofizice, a naturii problemelor geologice pe care ele le pot rezolva ca și a tipului și semnificației informațiilor pe care acestea le pot furniza, cunoașterea de pe pozițiile beneficiarului unor astfel de lucrări, nu poate fi decît în interesul industriei miniere și, în ultimă instanță, a economiei noastre naționale.

Pămîntul românesc oferă o mare complexitate și diversitate a alcătuirii sale geologice, ca și a bogățiilor minerale pe care le conține subsolul acestuia. Aceste aspecte sînt tratate în ceea ce au ele esențial, ca și cu amănuntele semnificative, în alte părți ale prezentului manual. Nu putem însă să trecem cu vederea aspecte cum sînt complexitatea structurii geologice, tipurile și formele de zăcămînt pe care le îmbracă acumulările de substanțe metalifere și nemetalifere, dimensiunile zăcămintelor, natura paragenezelor minerale în zăcăminte, relațiile acestora cu structurile magmatice sau metamorfice și uneori chiar sedimentare care le găzduiesc etc., ca și gradul de încarbonificare, grosimile și continuitatea sau lipsa acesteia la stratele de cărbuni, relațiile lor cu formele structurale ale formațiunilor sedimentare în care s-au format, gradul de tectonizare al acestora pe care l-au suportat în trecutul geologic și natura formelor tectonice actuale etc., deoarece toate acestea se reflectă într-un mod specific în informațiile geofizice.

Aplicabilitatea metodelor geofizice în procesul prospectării diferitelor tipuri de substanțe minerale utile și de forme de zăcămînt sub care acestea se găsesc asociate structurii geologice ascunse este controlată de o serie de condiționări fizice, geologice și economice asupra cărora ne vom opri pe scurt atenția în cele ce urmează. Aceste condiționări, denumite și *parametri-cheie* în limbajul curent al geofizicienilor, sînt principalele elemente care definesc și conturează posibilitățile și limitările aplicabilității eficiente a acestor metode.

Ceea ce este caracteristic și definitoriu diferitelor metode de prospecțiune geofizică este că fiecare din ele pune în evidență o latură anumită în care se reflectă structura geologică prospectată prin metoda respectivă; or, această latură specifică este direct condiționată de factorii fizici și geologici care asigură aplicabilitatea ei. Acești factori sînt trecuți în revistă în cele ce urmează.

Contrastul de proprietăți fizice. Acesta este unul dintre factorii fizico-geologici care este comun tuturor metodelor de prospecțiune geofizică. Nici una dintre aceste metode nu este aplicabilă dacă obiectul geologic de prospectat — fie zăcămînt, fie structură geologică de care să fie asociată o anumită substanță minerală utilă — nu reali-

zează un contrast de proprietăți fizice față de restul rocilor care se găsesc lateral, deasupra și dedesubtul lui.

Un astfel de contrast este *contrastul de masă magnetică*. Proprietatea fizică în măsură să diferențieze diferitele tipuri de roci sau de substanțe minerale utile din natură este susceptibilitatea magnetică a acestora și se exprimă în unități specifice de susceptibilitate (10^{-6} uCGS). În esență, proprietățile magnetice ale fiecărui element chimic sînt definite de momentul magnetic al atomului acestuia. Cu mici excepții, elementele chimice nu se găsesc pure în natură ci sub formă de combinații ca oxizi, sulfuri, carbonați, silicați etc., iar forma de prezentare a lor este aceea de molecule. Organizarea atomilor poate fi în rețea cristalină sau sub aspect amorf. Din cele de mai sus reiese că momentul magnetic al atomului nu este definitoriu pentru proprietățile magnetice ale mineralelor. Un exemplu în acest sens este edificator. Hematitul are susceptibilitate magnetică ridicată, de ordinul $1\,000-80\,000 \cdot 10^{-6}$ uCGS, în timp ce martitul care are aceeași formulă chimică este practic lipsit de proprietăți magnetice din cauza unei organizări interne diferite a atomilor în rețeaua cristalină și care are ca efect anihilarea reciprocă a momentelor magnetice ale atomilor.

Mineralul cu cea mai ridicată valoare a susceptibilității magnetice și net diferită ca nivel de a tuturor celorlalte, de ordinul $10\,000-4\,400\,000 \cdot 10^{-6}$ uCGS, este magnetitul. Acesta prezintă și marele avantaj că este foarte răspîndit în natură, fiind prezent — în conținuturi foarte diferite — practic în toate tipurile de roci (sedimentare, metamorfice și magmatice), precum și în marea majoritate a paragenezelor de minerale metalifere.

Datorită acestei situații, pentru înțelegerea și explicarea comportării magnetice a structurii geologice în prospecțiunea geofizică s-a emis ipoteza simplificatoare că *susceptibilitatea magnetică este direct proporțională cu conținutul rocilor în magnetit.* Cu tot caracterul ei simplificator, această ipoteză s-a dovedit pe deplin satisfăcătoare în marea majoritate a cazurilor practice.

În realitate, proprietățile magnetice ale oricărei substanțe din natură nu pot fi definite complet decît prin intensitatea de magnetizare a acesteia, care este o mărime vectorială și nu scalară ca susceptibilitatea magnetică. *Intensitatea de magnetizare a unei roci* reprezintă momentul magnetic al unității de volum și fiind o mărime dirijată în spațiu trebuie cunoscută — ca orice vector — prin intensitate, direcție, sens și poziția punctului de aplicație, ceea ce nu este cîtuși de puțin un lucru simplu. Legătura dintre intensitatea de magnetizare și susceptibilitatea magnetică este dată de faptul că mărimea acesteia este proporțională cu susceptibilitatea, respectiv cu capacitatea de magnetizare a substanței respective.

Considerate după intensitatea lor de magnetizare, rocile din natură pot să posede o magnetizare indusă, cîștigată datorită cîmpului geomagnetic în timpul formării lor, sau una remanentă (naturală) care le este proprie la formarea lor sau a fost influențată datorită proceselor chimice și termice care au avut loc în trecutul lor geologic. De fapt, pentru orice rocă sau acumulare de substanțe minerale utile, intensitatea de magnetizare reprezintă suma, evident vectorială, a celor două tipuri de magnetizări, respectiv remanentă și indusă; numai că la rocile slab magnetizate, cum sînt cele sedimentare, metamorfice și unele roci magmatice, mai ales acide, predomină componenta indusă, iar cea remanentă este practic neglijabilă, în timp ce la zăcămintele de fier — îndeosebi cele de oxizi — precum și la unele roci magmatice bazice și ultrabazice, predominantă este componenta remanentă.

Dat fiind faptul că vectorii magnetizare în masa unei roci sau zăcămînt pot avea intensități mari, definind deci o susceptibilitate magnetică echivalentă cu valoare ridicată, însă orientări diferite în spațiu, acestea pot să nu se manifeste ca niște cor-

puri magnetice cînd orientarea vectorilor este difuză sau ca avînd o magnetizare inversă cînd vectorii magnetizare au o orientare preferențială paralelă ori diferită de aceea a cîmpului geomagnetic, însă au sens invers cu al acestuia.

În cazul în care avem de-a face cu magnetizări remanente, interpretarea rezultatelor prospecțiunii geofizice se complică dar nu este irezolvabilă.

Proprietățile magnetice, fie că sînt definite prin susceptibilitatea magnetică, fie prin intensitatea de magnetizare, variază în domenii mari în cadrul oricărei structuri geologice de la un tip de rocă la altul care intră în componența ei și chiar în cuprinsul aceluiași tip de rocă, cum este cazul rocilor magmatice și al zăcămintelor metalifere. De aceea, aplicabilitatea prospecțiunii geofizice este condiționată de fapt nu de contrastul sau de contrastele de proprietăți magnetice; astfel de contraste devin interesante numai dacă rocile care se diferențiază după această proprietate ocupă volume importante în subsol, deoarece numai în acest caz se realizează contraste de masă magnetică suficient de mari în valoare pentru a genera anomalii magnetice cartabile. Din cele arătate mai sus reiese clar că, de fapt, *contrastul de masă magnetică* — factor fizico-geologic care condiționează aplicabilitatea uneia dintre metodele geofizice — reprezintă produsul dintre contrastul de proprietăți magnetice și volumul ocupat de corpul geologic în subsol. Latura corpului geologic prospectat care se reflectă în această metodă de prospecțiune geofizică este deci contrastul de masă magnetică.

Un alt tip de contrast de proprietăți fizice este contrastul de „masă materială" sau, mai simplu, *contrast de masă*.

Rocile și acumulările de substanțe minerale utile se diferențiază și după densitatea lor, respectiv după masa unității de volum a acestora exprimată în g/cm³. În principal, valoarea densității depinde de compoziția minerală, cu alte cuvinte de tipurile de minerale și de procentul cu care acestea intră în alcătuirea unui corp geologic.

Ca și proprietățile magnetice, densitatea variază în limite destul de largi în cuprinsul oricărei structuri geologice, de la un tip de rocă la altul și chiar în cadrul aceluiași tip de rocă. Un exemplu grăitor în acest sens îl reprezintă variația densității în cuprinsul corpurilor masive constituite din vulcanite neogene în funcție de gradul diferit de alterare hidrotermală a acestora, îndeosebi cînd procesele de autometamorfism hidrotermal au acționat în sensul caolinizării.

Variațiile de densitate legate de structura geologică ascunsă nu devin interesante pentru prospecțiunea geofizică decît atunci cînd obiectele geologice care prezintă un astfel de contrast ocupă volume importante în subsol. Numai în aceste cazuri se realizează contraste de masă capabile să genereze anomalii gravimetrice cartabile. Latura specifică a corpului geologic prospectat pe această cale geofizică va fi de această dată contrastul de masă, cu semnificație de produs între contrastul de densitate și volumul ocupat de corpul geologic respectiv.

Următorul tip de contrast de proprietăți fizice asupra căruia ne vom opri atenția este *contrastul de proprietăți electrice*.

Propagarea curentului electric printr-un mediu oarecare este condiționată de conductibilitatea electrică specifică a acestuia, cu alte cuvinte de capacitatea pe care o are mediul respectiv de a lăsa să treacă un curent electric prin el.

Cu mici excepții, cum este de pildă cazul mineralizațiilor metalifere masive, marea majoritate a rocilor și a acumulărilor de substanțe minerale utile se prezintă din punct de vedere electric ca niște medii eterogene cu comportament diferențiat. Fiind de fapt agregate minerale, ele reprezintă un amestec variabil de trei medii electrice diferite și anume:

— minerale metalifere, îndeosebi oxizii și sulfurile, caracterizate prin valori mari ale conductibilității electronice și prin care propagarea curentului electric se face datorită deplasării libere a electronilor în interiorul lor;

— apa, care intră în constituția oricărei roci fie ca apă legată, fie ca soluții mineralizate care umplu spațiul liber dintre minerale și care este caracterizată prin valori relativ scăzute ale conductibilității ionice. În acest caz, propagarea curentului electric se face prin deplasarea liberă a ionilor în soluție;

— minerale slab conductoare electric, practic cu un comportament de dielectrici, cum sînt cuarțul, calcitul, feldspații etc. Astfel de minerale opun o rezistență foarte mare la trecerea curentului electric prin ele sau chiar nu permit propagarea acestuia. Cînd astfel de minerale constituie acumulări masive, ca de exemplu corpuri de cuarțit, de baritină etc., ele se comportă foarte rezistiv din punct de vedere electric. Prezența lor în rocile comune metamorfice, magmatice sau sedimentare, ca și în mineralizațiile obișnuite, asociată mineralelor metalifere și apei, fac rocile respective mai puțin restrictive propagării curentului electric. În acest caz avem de-a face cu un alt tip de conductibilitate electrică, denumită *capacitivă* sau *prin curenți de deplasare*.

Conductibilitatea electrică, indiferent de natura ei, variază în limite foarte mari pentru diferitele minerale și chiar pentru roci ori acumulări de substanțe minerale utile. De aceea, practic este mai avantajos de caracterizat proprietățile electrice a subsolului nu prin conductibilitatea electrică specifică a corpurilor geologice care îl constituie, ci prin valoarea inversă a ei, denumită *rezistivitate electrică* și exprimată în Ωm. Așadar, contrastul de proprietăți electrice este de fapt un contrast de rezistivitate electrică specifică și aceasta este practic latura în care se reflectă corpurile geologice din subsol. Evident că și în acest caz mărimea corpurilor geologice influențează rezultatele prospecțiunii geofizice, dar factorul fizico-geologic de care depinde direct prospecțiunea electrometrică rămîne contrastul la care ne-am referit mai sus.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice care se realizează în natură este reprezentat de *contrastul de proprietăți radioactive naturale*. Aceste proprietăți sînt conferite rocilor îndeosebi de mineralele de uraniu care sînt mai numeroase și mai larg răspîndite în natură, au durată de existență caracterizată prin timpi de înjumătățire mai îndelungați și produc radiații mai intense. Prezența acestor minerale și, mai ales a uraninitului, se regăsește — la concentrații variabile și în general mici — practic în toate tipurile de roci. Nu trebuie neglijată însă nici prezența unor minerale de thoriu, ca de exemplu monazitul, importantă în acumulările de minerale grele, ca și a celor de potasiu din rocile metamorfice și magmatice.

Raporturile de conținut în minerale radioactive pot fi foarte diferite în natură și ele variază între 1 000/1 și chiar mai mult în cazul zăcămintelor de substanțe radioactive, coborînd pînă la 2/1 în cazul rocilor comune. Parametrul fizic care caracterizează proprietățile radioactive este conținutul în minerale radioactive și se exprimă în μμg Ra echiv./g rocă. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice ascunse în rezultatele prospecțiunii geofizice va fi așadar, în acest caz, contrastul de conținut în minerale radioactive.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice pe care îl realizează corpurile geologice este *contrastul de proprietăți termice*. Acesta derivă în primul rînd din conductibilitatea termică diferită a rocilor și care se exprimă în cal/cm². s. grad centigrad. Pe baza acestei proprietăți are loc difuzia diferențiată a căldurii interne a Pămîntului către suprafața terestră, prin conducție sau convecție, ca și a căldurii generate prin alte fenomene naturale cu sediul aproape de suprafață, cum sînt oxidarea unor mineralizații sau procesele de dizolvare a sării și care reprezintă fie reacții exotermice, fie endotermice. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice în informațiile geofizice este reprezentată în acest caz, în esență, prin contrastul de conductibilitate termică.

În fine, un alt contrast de proprietăți fizice realizat în natură este *contrastul de proprietăți elastice*, pe care se bazează propagarea în subsol a undelor seismice.

Proprietățile elastice ale rocilor, respectiv ale substanțelor minerale utile acumulate în zăcăminte, care interesează în propagarea și, mai ales, în devierea prin refracție sau reflexie a undelor elastice prin subsol, se caracterizează simultan prin doi parametri fizici ale acestora și anume: *viteza de propagare a undelor elastice* (v) și *densitatea* (δ).

Astfel, în refracție, contrastul de proprietăți elastice este definit prin *contrastul de impedanță acustică* — mărime reprezentată de produsul $v \cdot \delta$ — și poate fi exprimat fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \delta_1$$

fie ca

$$v_2 . \delta_2 / v_1 . \delta_1,$$

indicii 1 și 2 referindu-se la mediul de propagare superior, respectiv inferior.

În reflexie, contrastul de proprietăți elastice este caracterizat prin *coeficientul de reflexie* care se realizează la limita dintre cele două medii, exprimat ca

$$\frac{v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \cdot \delta_1}{v_2 \cdot \delta_2 + v_1 \cdot \delta_1}$$

Mărimea corpurilor geologice, în acest caz grosimea stratelor, intervine cu o pondere mică și practic numai în cazul refracției. Aplicabilitatea acestei forme de prospecțiune geofizică este condiționată deci, aproape exclusiv, de contrastul de proprietăți elastice care reprezintă și latura specifică în care se manifestă structura geologică ascunsă a subsolului.

Așa cum a fost deja precizat, proprietățile fizice ale rocilor — specifice pentru toate metodele geofizice — pot să prezinte valori diferite de la o rocă, mineral sau acumulare de minerale utile la alta, datorită situației geologice concret locale. Deoarece aceste proprietăți fizice nu sînt constante pentru astfel de substanțe, este întotdeauna convenabil să cunoaștem domeniul lor de variație. Pentru aceasta, în tabelul X.5 pe care îl prezentăm sînt înscrise domeniile de variație pentru principalele medii care interesează geologia minieră și prospectarea geofizică în această ramură a geologiei economice și, de asemenea, pentru toți parametrii fizici discutați mai sus.

Relieful topografic și structura cuverturii superficiale. Relieful topografic și cuvertura superficială reprezintă alți doi factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice.

Zăcămintele metalifere și în parte cele de cărbuni, sare și substanțe nemetalifere sînt situate — cel puțin în țara noastră — în regiuni muntoase și submuntoase caracterizate prin relief variat și accidentat.

Formele de relief topografic și prezența mai multor tipuri de roci cu proprietăți fizice diferențiate în cuprinsul acestora — îndeosebi în cazul reliefurilor geomorfologice — influențează într-o măsură diferită prospecțiunile geofizice. Măsurătorile gravimetrice și seismice sînt puternic influențate și, din acest motiv, efectele de relief sînt scrupulos evaluate pentru corectarea valorilor măsurate. Efecte datorate acestor factori se resimt și în măsurătorile magnetice și radiometrice, în unele cazuri chiar și în cele electrometrice; în aceste cazuri, deși nu se evaluează reduceri de relief, se ține cont în interpretarea informațiilor geofizice de posibilitatea existenței unor efecte provenite pe această cale.

Cuvertura superficială, reprezentată prin soluri, formațiuni aluviale sau deluviale, alterări a zonelor de suprafață ale rocilor masive, conuri de dejecție sau alte formațiuni

Tabelul X.5

Proprietățile fizice ale principalelor roci și minerale

Rocă sau mineral	Densitatea, g/cm³	Susceptibilitatea magnetică, 10^{-6} uCGS	Conținut în Ra echivalent, μμg Ra/g	Viteza de propagare, m/s	Rezistivitatea specifică, Ωm
Soluri	1,50—2,00	0—30		300—800	$2 \cdot 10^0 - 1 \cdot 10^6$
Loess	1,40—1,50	20—30		300—800	$5 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^4$
Nisip	1,40—2,18	—1	3—21	1 600—1 900	$1 \cdot 10^0 - 4 \cdot 10^6$
Grezie	2,35—2,72	3—700	3—22	2 200—3 000	$6 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^6$
Argilă	2,15—2,46	20—40	4—23	2 000—2 200	$1 \cdot 10^0 - 1 \cdot 10^5$
Marnă	2,12—2,57	40—50	3—24	2 100—2 600	$5 \cdot 10^{-1} - 7 \cdot 10^0$
Calcar	2,45—2,81	4—70	3—17	4 000—6 000	$1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^8$
Dolomit	2,60—2,80	—1~4	2—9	4 000—6 000	$6 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^7$
Sare, gips	2,12—2,25	—1	0—2	4 500—6 000	$3 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^8$
Lignit	1,00—1,20	—2~2	0—2	1 400—1 900	$9 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^4$
Huilă	1,40—1,50	—2~2	0—2	1 400—2 000	$6 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^7$
Antracit	1,40—1,60	—2~3	0—3	1 600—2 000	$1 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$
Pirită	4,90—5,20	4—50			$5 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-4}$
Calcopirită	4,10—4,30	3—40			$1,5 \cdot 10^{-2} - 3,5 \cdot 10^1$
Pirotină	4,58—4,70	6 000—80 000			$5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^0$
Magnetit	4,90—5,20	10 000—4 400 000			$0,6 \cdot 10^0 - 5 \cdot 10^3$
Hematit	5,00—5,30	1 000—80 000			$5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^7$
Limonit	3,30—4,00	100—500			$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^7$
Siderit	3,90—4,00	2—30			$7 \cdot 10^3$
Galenă	7,40—7,60	2—40			$3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^1$
Cromit	4,00—4,80	240—600			$1 \cdot 10^2$ —2 10^6
Calcit	2,60—2,80				10^7
Cuarț	2,50—2,80				10^7
Grafit	1,84—2,23				$8 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^0$
Filit	2,68—2,80	100			
Amfibolit	2,91—3,04	60		6500—7 000	
Șisturi cristaline	2,39—2,87	20		4 000—6 000	$3 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^6$
Gnais	2,59—3,00	0—2 50		4 500—4 900	$2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^6$
Serpentin	2,80—3,10	250—6 000	0—1	6 500—7 000	$2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$
Granit	2,56—2,71	5—5 000	0—3	4 000—6 000	$3 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^5$
Diorit	2,60—2,75	10—5 000	0—3	5 000—6 000	$5 \cdot 10^6 - 1$ 10^6
Porfir	2,55—2,66	40—600	0—3	5 000—6 000	$6 \cdot 10^3 - 1,5^3 \cdot 10^6$
Sienit	2,60—2,90	50—5 000	0—2	5 000—5 500	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^7$
Bazalt	2,71—3,21	60—6 000	0—2	4 900—6 400	$8 \cdot 10^2 - 1$ 10^9
Diabaz	2,73—3,12	50—12 000	0—2	5 800—7 100	$2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^6$
Gabbrou	2,89—3,09	0—7 000	0—2	6 700—7 300	$1 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^6$
Dunit	2,80—3,12	100—2 000	0—1	7 900—8 100	
Tuf vulcanic	1,75—1,85	100—3 000			

alohtone acoperitoare etc., îşi manifestă de asemenea influenţa asupra măsurătorilor geofizice prin natura petrografică a lor, variaţiile de grosime, gradul de umiditate şi altele.

În unele situaţii, cum este cazul măsurătorilor radiometrice, rocile cuverturii superficiale — dacă depăşesc o grosime de mai mulţi decimetri — pot să ecraneze radiaţiile provenite de la corpurile geologice din subsol, reprezentînd un element prohibitiv executării acestora. În prospecţiunea seismică, influenţa acesteia se consideră scrupulos, evaluîndu-se efectele asupra propagării undelor elastice şi aplicîndu-se corecţiile necesare. La celelalte metode de prospecţiune geofizică efectele cuverturii superficiale nu se pot evalua, însă trebuie ţinut cont în procesul de interpretare a informaţiilor de posibilitatea existenţei lor.

Mărimea, adîncimea, forma şi gradul de izolare a obiectelor geologice. Ideal ar fi ca toate zăcămintele de substanţe minerale utile să fie cît mai mari şi cît mai aproape de suprafaţă, iar forma lor să fie regulată, chiar geometrică, şi uşor de determinat printr-un minim de lucrări de explorare; acest lucru este valabil atît pentru industria minieră cît şi pentru prospecţiunea geofizică. În realitate, situaţia nu este deloc aceasta. Din contră, detectarea unor astfel de zăcăminte implică investigarea la adîncimi din ce în ce mai mari şi, în general, în condiţii de structură geologică mereu mai complicată.

Pentru prospecţiunea geofizică, *mărimea, adîncimea* şi *forma obiectelor geologice* ce urmează a fi detectate pe această cale reprezintă trei factori fizico-geologici care trebuie consideraţi împreună, deoarece ei se intercondiţionează reciproc şi se manifestă simultan. Este adevărat că aceştia se reflectă în trei elemente caracteristice ale informaţiilor geofizice — morfostructura, intensitatea şi extinderea în suprafaţă a lor — însă această reflectare nu este separată ci simultană, deşi cu pondere diferită, a tuturor celor trei factori fizico-geologici în fiecare din acestea.

Pentru unele metode geofizice, cum sînt cele gravimetrică şi magnetometrică, obiectele geologice de interes — indiferent de forma lor — pot fi sesizate dacă pe măsură ce creşte adîncimea lor le creşte şi mărimea. Influenţa adîncimii în radiometrie rămîne factorul cel mai important deoarece, aşa cum s-a mai spus, dacă intervine ecranarea fluxului de radiaţii datorită rocilor care acoperă obiectul geologic de prospectat, adîncimea acestuia poate deveni prohibitivă aplicării acestei metode. În electrometrie, de asemenea, adîncimea joacă un rol esenţial, în primul rînd ca urmare a faptului că prin însăşi posibilităţile pe care le oferă, metodele electrometrice au o adîncime de investigaţie mică, de ordinul pînă la 3—400 m. Singura metodă geofizică fără restricţii de adîncime este cea seismometrică, dar aplicarea ei în geologia minieră este limitată la substanţele minerale utile găzduite de formaţiuni sedimentare slab tectonizate.

Forma obiectelor geologice influenţează şi ea informaţiile geofizice, ca şi mărimea acestora. În general, formele disjunctive cum sînt fracturile, dyke-urile, filoanele, zăcămintele stratiforme puternic redresate etc. în care se încadrează o mare parte din problemele geologiei zăcămintelor metalifere, sînt mai favorabile prospectării geofizice. Rezultate concludente se pot obţine însă şi pentru zăcăminte stratiforme orizontale sau suborizontale, zăcăminte masive de formă oarecare şi altele, dacă mărimea lor este satisfăcătoare şi adîncimea relativ mică. La unele acumulări de substanţe minerale utile, cum sînt zăcămintele stratiforme, de sulfuri complexe — compacte sau de impregnaţie — ori stratele de cărbuni, forma lor poate fi puternic complicată datorită accidentelor tectonice, ca falii cu săritură pe verticală sau falii de decroşare; acestea complică reflectarea lor în informaţiile geofizice dar, în cazul în care adîncimea la care se găsesc nu este prea mare, prospecţiunea geofizică îşi conservă aplicabilitatea.

În legătură cu aceşti trei factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecţiunilor geofizice mai apare şi un al patrulea, şi anume, *gradul de izolare al obiectelor geologice*. Se înţelege prin *izolare* sau *separare a obiectelor geologice* situaţia în care acestea găsindu-se în subsol la o adîncime comparabilă au între ele o distanţă convenabilă, astfel încît efectele lor să se manifeste în informaţii geofizice bine individualizate. Cînd distanţa dintre acestea este prea mică în raport cu adîncimea lor, apar efecte de cumul prin adiţiune, cu alte cuvinte două sau chiar mai multe obiecte geologice ascunse pot să se reflecte într-o singură informaţie geofizică în care sînt cuprinse efectele individuale ale acestora.

Acest factor fizico-geologic influenţează îndeosebi informaţia gravimetrică şi, într-o măsură mai redusă, pe cea magnetică; el nu se face resimţit în celelalte metode de prospecţiune geofizică.

Caracteristicile limitelor geologice. Caracterizarea limitelor geologice după formă, geneză şi contrast de proprietăţi fizice, respectiv caractere litologice sau petrografice, este necesară din punctul de vedere al individualizării acumulărilor de substanţe minerale utile în raport cu masa rocilor în care acestea sînt găzduite.

În unele cazuri aceste limite sînt nete, tranşante, pe ele făcîndu-se trecerea bruscă de la o valoare a proprietăţii fizice (densitate, susceptibilitate magnetică etc.) la o alta sensibil diferită. Aşa este cazul, de exemplu, cu masivele de sare, cu mineralizaţiile masive care se conturează ca nişte corpuri bine individualizate, cu unele strate de cărbuni, cu limita cuvertură sedimentară/fundament cristalin şi altele. În astfel de situaţii prospecţiunea geofizică este favorizată în aplicarea ei.

În multe cazuri însă, saltul de proprietăţi fizice nu este brusc ci progresiv. Ca exemple se pot da trecerea de la mineralizaţiile masive la roca sterilă prin intermediul unei zone de impregnaţie, trecerea de la o rocă pelitică sau psamitică la cărbune prin intermediul unor marne sau şisturi cărbunoase, zăcăminte metalifere greu definibile ca formă cum sînt stock-urile, volburile etc. În situaţiile în care zona de trecere este relativ de mică grosime, deşi nu există o limită geologică netă, corpul geologic se manifestă ca avînd o astfel de limită, echivalentă, dar care în realitate nu are un corespondent fizic.

Atunci cînd se realizează situaţiile la care ne-am referit mai sus, unor astfel de limite le corespund orizonturi geofizice de referinţă, foarte importante pentru interpretarea geologică a informaţiilor geofizice. Dacă astfel de condiţii nu sînt satisfăcute, şi sîntem în prezenţa unor treceri gradate — progresive sau regresive — ale proprietăţilor fizice pe distanţe mari în raport cu dimensiunile corpului geologic de prospectat, informaţiile geofizice obţinute de la acesta sînt mai puţin concludente şi interpretarea geologică a lor va avea un grad de încredere mai scăzut.

Caracterul limitelor geologice reprezintă factorul hotărîtor pentru informaţia seismică de reflexie. Pentru ca să existe o bună suprafaţă de reflexie în subsol, corespunzătoare unei limite litologice, stratigrafice sau paleogeografice, trebuie să fie îndeplinite următoarele cinci condiţii:

— contrast de proprietăţi elastice, respectiv valoare cît mai mare a coeficientului de reflexie;

— continuitate în suprafaţă cît mai mare a acestei limite, cu conservarea cît mai bună a valorii coeficientului de reflexie;

— caracter neted, „de oglindă", a acesteia;

— înclinare care să nu depăşească 15—25°;

— absenţa unor neomogenităţi locale care să genereze anomalii de viteză de propagare a undelor elastice în formaţiunile geologice care acoperă suprafaţa de reflexie respectivă.

Dacă satisfacerea acestor condiţii este deplină, atunci este asigurată existenţa unor orizonturi seismice de referinţă de foarte bună calitate, iar informaţia seismică va avea un grad de încredere foarte ridicat. În marea majoritate a cazurilor avem de-a face numai cu o satisfacere parţială, ceea ce conduce la informaţii seismice fragmentare; valoarea acestora este însă de necontestat, deoarece — în ansamblu — ele sugerează corect structura geologică ascunsă a subsolului.

Condiţiile unei bune limite de reflexie sînt, în fapt, valabile şi pentru celelalte informaţii geofizice, cu precizarea că pentru acestea din urmă cu cît înclinarea limitei geologice este mai mare, ideal verticală, cu atît aplicabilitatea metodelor geofizice respective este mai favorizată. Acest fapt este realizat în natură în foarte multe cazuri, în primul rînd pentru zăcămintele metalifere, datorită caracterului predominant discordant al acestora faţă de teremurile metamorfice şi, mai ales, cele magmatice care le găzduiesc. Totuşi, o caracteristică importantă a acestui tip de mineralizaţii este că ele au forme extrem de neregulate; aceasta face ca realizarea contrastelor de proprietăţi fizice ale acumulărilor minerale faţă de roca-gazdă să aibă loc pe limite greu de definit şi foarte diferite ca poziţie în spaţiu de la un caz la altul, variind de la cea verticală la cea orizontală.

Costul lucrărilor. În practica aplicării metodelor de prospecţiune geofizică trebuie ţinut seama nu numai de problema geologică de rezolvat şi de domeniul de aplicabilitate al diferitelor metode, ci şi de costul lucrărilor respective. Aşa dar, pe lîngă condiţionările fizice şi geologice mai apare şi o condiţionare economică la folosirea acestor metode de prospecţiune.

După cum a fost precizat mai înainte, fiecare tip de informaţie geofizică conţine reflectarea unei laturi specifice a structurii geologice ascunse a subsolului. Varietatea acumulărilor de substanţe minerale utile face ca acestea să-şi trădeze existenţa lor în una sau alta din informaţiile geofizice. De exemplu, o mineralizaţie de sulfuri complexe poate să se reflecte mai evident în informaţia magnetică, dacă are un conţinut mai ridicat în minerale feromagnetice (pirită, pirotină, magnetit, hematit etc.), sau în cea electrometrică, în cazul cînd astfel de minerale sînt conţinute într-un procentaj mai scăzut şi cînd structura şi textura mineralizaţiei este diferită. Din acest motiv, eficienţa prospecţiunii geofizice la localizarea unor astfel de acumulări creşte atunci cînd avem la dispoziţie mai multe tipuri de informaţii geofizice sau, cum se mai spune, atunci cînd se efectuează prospecţiuni geofizice complexe.

Pe de altă parte, acumulările de substanţe minerale solide fiind în general de dimensiuni mici, cu grosimi de ordinul pînă la cîţiva metri, detectarea existenţei acestora în subsol necesită prospecţiuni geofizice de mare detaliu. Din această cauză, astfel de prospecţiuni trebuie precedate de unele cu caracter mai regional, care să stabilească şansele de existenţă a unor anumite tipuri de acumulări de substanţe minerale, respectiv prin care să se descifreze structura geologică ascunsă, existenţa unor condiţii metalogenetice de afiliaţie magmatică sau metamorfică, existenţa unor factori de control structural cum sînt de exemplu fracturile şi altele.

Cu alte cuvinte, prospectarea geofizică a zăcămintelor minerale necesită aplicarea unui complex de metode geofizice, cel puţin în două faze diferite: una *regională* şi una *locală, de mare detaliu*.

Este, de asemenea, de remarcat că metodele geofizice au nevoie de mijloace mai complicate şi de o prelucrare mai laborioasă a rezultatelor, ceea ce face ca ele să fie mai costisitoare decît cele geologice sau geochimice. Astfel, luînd ca termen de comparaţie costul mediu anual al unei echipe-lună de prospecţiuni electrometrice care este cel mai coborît, costurile relative sînt cu 20% mai mari pentru o echipă de magnetometrie la sol, cu 50% pentru o echipă de gravimetrie, cu 375% pentru una de aeromagnetism şi cu 700% mai mari pentru o echipă de seismometrie.

Aşa dar, în economia aplicării prospecţiunilor geofizice este necesar ca la proiectarea acestor lucrări să fie făcută o analiză foarte atentă a eficacităţii probabile a metodelor cît şi a cheltuielilor ocazionate de folosirea lor, alegînd final acea metodă sau acel complex de metode pentru care cheltuielile care se vor efectua vor fi justificate prin natura şi valoarea informaţiilor geologice ce se vor obţine.

2.2. COMPLEXUL DE METODE GEOFIZICE SPECIFIC PROBLEMELOR DE GEOLOGIE MINIERĂ

Geofizica este ştiinţa care se ocupă cu studiul proprietăţilor şi al fenomenelor fizice ale Pămîntului, precum şi cu legătura lor cu structura internă a acestuia. Partea aplicativă a acestei geoştiinţe, în speţă prospecţiunea geofizică, încorporează un complex de metode, tehnici şi variante ale acestora relativ multe la număr, bazate pe fenomene fizice naturale sau provocate, şi care au o caracteristică comună prin aceea că folosesc măsurători la suprafaţa Pămîntului, în aer, pe şi sub apă sau în excavaţii miniere, detectînd variaţii legate de diferenţierea proprietăţilor fizice ale mineralelor, rocilor sau formaţiunilor geologice care sînt interpretate apoi în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanţe minerale utile.

În cele ce urmează vom face o scurtă prezentare a metodelor geofizice şi, îndeosebi, a acelor variante care interesează geologia minieră. Cititorul care este interesat în adîncirea problemelor de metodică şi tehnică a acestui gen de prospecţiuni poate consulta lucrări apărute anterior în acest domeniu şi anume: Botezatu (1964), Constantinescu et al. (1965), Socolescu (1967), Botezatu et al. (1976), Airinei (1977), Botezatu (1977), Zegheru şi Albotă (1979).

2.2.1. PROSPECŢIUNEA GEOMAGNETICĂ

Pămîntul se manifestă în exteriorul lui ca un magnet, exercitînd forţe de atracţie asupra oricărui magnet sau obiect constituit din metale feroase. Forţa cu care acţionează asupra unui corp de masă magnetică unitară poartă numele de *cîmp geomagnetic*.

Privit la scară planetară, cîmpul geomagnetic are o structură relativ regulată — destul de apropiată de aceea a cîmpului creat de un magnet în formă de bară — şi o intensitate de valoare scăzută.

Unitatea CGS de intensitate a cîmpului magnetic poartă numele de *Oerstedt* şi se notează cu 1 Oe. Ea reprezintă cîmpul creat de un pol magnetic (masă magnetică) unitar într-un punct situat la distanţa de 1 cm, mediul fiind nemagnetic. Această unitate de măsură fiind prea mare pentru cîmpul geomagnetic, în prospecţiunea magnetică se foloseşte unitatea practică purtînd numele de *gamma*, relaţia dintre acestea fiind $1\gamma = 10^{-5}$ Oe.

Cîmpul geomagnetic prezintă variaţii atît în spaţiu, de la un punct la altul pe suprafaţa Pămîntului ca şi în aer pe măsură ce ne îndepărtăm de aceasta, cît şi în timp.

Variaţiile în spaţiu se datoresc structurii interne a Pămîntului — nucleul şi mantaua care produc partea regulată a cîmpului geomagnetic — precum şi scoarţei acestuia şi îndeosebi a părţii superioare a ei, unde au loc diferitele diferenţieri ale rocilor şi existenţa acumulărilor de substanţe minerale utile cu proprietăţi magnetice ridicate. Acestea din urmă produc abateri de la aspectul regulat al cîmpului geomagnetic.

Configuraţia generală destul de regulată a distribuţiei cîmpului geomagnetic pe întreaga suprafaţă a Pămîntului a condus la ideea separării acestuia în două părţi şi anume: *cîmpul geomagnetic normal* (T_0) şi *anomalia cîmpului geomagnetic* (ΔT). Acest lucru se exprimă analitic prin relaţia

$$T = T_0 + \Delta T$$

În general, cîmpul geomagnetic normal care, aşa cum se deduce din cele arătate mai sus ar corespunde magnetizării practic uniforme a nucleului şi mantalei Pămîntului, nu se poate evalua pe calea analitică; el este însă determinat în condiţii satisfăcătoare pentru teritoriul unui stat prin măsurători în puncte în care practic anomalia ΔT este neglijabilă, astfel încît conform relaţiei de mai sus putem considera $T_0 \cong T$.

Variaţiile în timp, care pot fi periodice (cu perioadă de 11 ani şi de 24 ore) sau neperiodice (furtuni magnetice, variaţii în golf, trenuri de unde etc.), se datoresc în principal unor fenomene de inducţie ca urmare a ionizării păturii înalte a atmosferei terestre sub acţiunea fluxului variabil de particule electrizate emise de Soare în urma activităţii solare.

După cum rezultă din cele de mai sus, prospecţiunea geomagnetică are ca obiect punerea în evidenţă a anomaliilor cîmpului geomagnetic, respectiv a abaterilor de la valoarea normală a acestuia, produse de structura geologică ascunsă şi de acumulările de substanţe minerale utile pe care aceasta le conţine. Practic, obiectele geologice care se manifestă în această metodă de prospecţiune geofizică sînt în primul rînd produsele magmatismului de diverse tipuri în ceea ce priveşte descifrarea structurii geologice şi acumulările de minerale feroase, îndeosebi de oxizi, prin ele însele, precum şi orice alte mineralizaţii metalifere ori nemetalifere care au în parageneză prezenţa unor minerale feromagnetice.

Aşadar, cîmpul geomagnetic are dimensiuni de forţă.

Cîmpul magnetic produs de corpurile geologice care interesează prospecţiunea geomagnetică, respectiv ceea ce am numit mai sus anomalia geomagnetică pentru raţiuni care se vor vedea mai departe, are evident aceleaşi dimensiuni de forţă şi derivă, ca şi cîmpul geomagnetic de altfel, dintr-un potenţial.

Potenţialul magnetic Ω produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spaţiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o intensitate de magnetizare I orientată pe direcţia i într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanţa $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relaţia

$$\Omega = \iiint_V I \cdot \frac{\partial}{\partial i}\left(\frac{1}{u}\right) \cdot dx\, dy\, dz,$$

iar cîmpul magnetic T produs de către acest corp în acelaşi punct P_0 va fi

$$T = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2}$$

în care

$$X = -\frac{\partial\Omega}{\partial X}; \quad Y = -\frac{\partial\Omega}{\partial y}; \quad Z = -\frac{\partial\Omega}{\partial Z}.$$

Derivînd dintr-un potenţial, cîmpul magnetic reprezintă de fapt un cîmp potenţial.

Acestea fiind elementele de bază care fundamentează prospecţiunea geomagnetică, să vedem acum în ce constă practic aceasta.

Mărimile care se măsoară în acest gen de prospecţiune geofizică sînt fie variaţiile în cadrul unei anumite suprafeţe a componentelor verticală (ΔZ) sau orizontală (ΔH) a cîmpului geomagnetic, fie ale intensităţii acestuia (ΔT). Aparatele folosite poartă numele de *magnetometre* şi pot fi bazate pe principii constructive diferite şi anume: balanţe magnetice, sonde cu saturaţie, precesie protonică sau pompaj optic. Precizia de măsurare variază de la un tip la altul şi este cuprinsă între $\pm 30\gamma$ şi $\pm 0,1\gamma$.

Măsurătorile la sol se execută în puncte situate pe profile care urmăresc căile de acces (drumuri, poteci, văi şi interfluvii), astfel încît să se asigure o distribuţie cît mai uniformă a punctelor de măsură în cuprinsul suprafeţei de prospectat în cazul lucrărilor cu caracter regional, precum şi în reţele geometrice de puncte în cazul lucrărilor de detaliu şi mare detaliu. Măsurătorile aeromagnetice cu avioane sau elicoptere se realizează prin înregistrarea continuă a mărimii magnetice determinate de-a lungul unor profile liniare, folosind în general un plafon constant de zbor. În toate cazurile, valorile determinate au un caracter relativ, reprezentînd variaţii faţă de o valoare absolută sau arbitrar aleasă a unui punct din cuprinsul suprafeţei de prospectat ori din vecinătatea acesteia.

Valorile brute măsurate ale diferitelor mărimi magnetice, pentru a fi comparabile între ele, sînt corectate cu efectele variaţiilor de temperatură şi ale variaţiei diurne a cîmpului geomagnetic din intervalul de timp al zilei în care au fost determinate în grupul de staţii sau de profile respective. În modul acesta se constituie un sistem unitar, omogen şi coerent de valori în raport cu situaţia de bază a lucrării.

Aplicarea, pentru fiecare valoare, a reducerii de cîmp normal, le transformă pe acestea în valori ale anomaliei cîmpului geomagnetic, respectiv a uneia din componentele acestuia, mărime care reflectă acum numai influenţa corpurilor geologice din subsol.

Prezentarea rezultatelor prospecţiunii geomagnetice se face sub formă de *hărţi cu curbe de egală valoare* sau sub formă de *profile de variaţie a anomaliei geomagnetice*. Acestea sînt cele două tipuri cartografice pe care le poate lua informaţia magnetică într-o regiune prospectată geofizic prin această metodă şi care urmează a fi interpretată în termeni geologici pentru localizarea şi conturarea maselor magnetice perturbante din subsol.

2.2.2. PROSPECŢIUNEA GRAVIMETRICĂ

Prospecţiunea gravimetrică se bazează pe un alt cîmp potenţial şi anume *cîmpul gravităţii*.

Ori unde există corpuri, deci mase materiale, există şi forţe de atracţie între acestea. Acest adevăr a fost stabilit de *Newton* în anul 1666.

Pămîntul fiind un corp cu o mare masă materială, va exercita o forţă de atracţie asupra oricărui alt corp situat pe suprafaţa sau în exteriorul lui. Pe de altă parte,

Pămîntul este un corp în rotație, astfel încît asupra corpurilor de pe suprafața lui va acționa nu numai o forță de atracție spre Pămînt ci și una centrifugă care va tinde să le deplaseze spre spațiul exterior pe direcția razei de rotație. Deoarece raportul intensităților acestor două forțe este net în favoarea celei de atracție — cea de rotație avînd valori cuprinse între 0 la Poli și circa 1/300 din prima la Ecuator — dominantă ca direcție, intensitate și sens rămîne componenta de atracție.

În acord cu cele precizate mai sus, cîmpul gravității — care se notează cu g — este definit ca fiind forța cu care acționează Pămîntul în rotație asupra unui corp de masă unitară situat pe suprafața acestuia sau în exteriorul lui.

Unitatea CGS de intensitate a cîmpului gravității se numește *gal* și are dimensiunile 1 cm s^{-2}. Deoarece această unitate este prea mare pentru nevoile practice ale prospecțiunii gravimetrice, se folosește un submultiplu al ei și anume *miligalul*, relația dintre acestea fiind 1 mgal = 10^{-3} gal.

Ca și cîmpul geomagnetic, cel al gravității prezintă variații în spațiu și în timp.

Variațiile în timp se datoresc interacțiunii atractive dintre Pămînt, Soare și Lună, ultimele două ca principalele corpuri cerești care își manifestă prezența din acest punct de vedere. Aceste variații, al căror efect ia forma unor maree terestre, au o predominantă periodicitate diurnă și o intensitate mică ce nu depășește ca ordin de mărime 0,2 mgal în țara noastră; în general, influența lor este neglijată în prospecțiunea gravimetrică.

Variațiile în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pămîntului, ca și pe verticală spre exterior sau spre interior (în puțuri de mină sau în găuri de sondă) se datoresc masei interne a acestuia. Și în cazul gravimetriei distingem o parte regulată, datorată atracției nucleului, mantalei și scoarței, care poartă numele de *cîmp normal* și se notează cu γ_0. Acest cîmp normal este evaluat analitic în ipoteza că Pămîntul are forma definită de elipsoidul geodezic de referință adoptat internațional și o distribuție de masă cu caracter omogen în interiorul lui. Față de acest cîmp al gravității, normal, care prezintă un aspect general regulat pe suprafața Pămîntului, structurile geologice și acumulările de substanțe minerale utile din zonele superioare ale scoarței acestuia, realizînd contraste pozitive sau negative de densitate și de masă față de formațiunile înconjurătoare, exercită atracții care reprezintă abateri de la valoarea normală sau, în termeni uzuali, *anomalii gravimetrice*. Acestea sînt cele care fac obiectul prospecțiunii gravimetrice și care vor trebui interpretate în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

Spre deosebire de proprietățile magnetice care caracterizează numai o parte din rocile sau mineralele care intră, în diferite forme, în alcătuirea scoarței terestre, densitatea este o proprietate generală astfel încît toate formațiunile geologice ale scoarței se vor manifesta — cu o pondere diferită corelativ cu contrastul de densitate și de masă al lor — în cîmpul gravității.

Ceea ce interesează deci prospecțiunea gravimetrică sînt anomaliile gravității produse de corpurile geologice ascunse care ar putea avea un interes economic.

Potențialul gravității produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spațiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o densitate δ într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relația

$$W = G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{1}{u} \cdot dx \cdot dy \cdot dz,$$

iar cîmpul gravității g produs de către acest corp în același punct exterior P_0 va fi

$$g \cong G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{z}{u^3} \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

După cum se poate remarca, g a fost identificat cu derivata parțială după direcția verticală a potențialului gravității, respectiv $\partial W/\partial z$, deoarece componenta de rotație nu modifică practic direcția verticală a celei de atracție. În relațiile de mai sus G reprezintă constanta atracției universale avînd valoarea de 6,67 10^{-8} uCGS.

Așadar, ceea ce se măsoară în cadrul prospecțiunii gravimetrice este cîmpul gravității g. Aparatele folosite poartă numele de *gravimetre statice*, elementele sensibile la variațiile cîmpului gravității, fiind în majoritatea cazurilor sisteme de mase suspendate pe mai multe arcuri, atît unele cît și celelalte confecționate din metal sau cuarț topit, și atingînd precizii de ordinul $\pm 0{,}03$ mgal.

Măsurătorile au un caracter relativ, ca diferențe față de o stație de bază cu valoare cunoscută din lucrări anterioare sau arbitrar aleasă, și se execută pe cicluri de stații grupate pe profile, într-o rețea oarecare sau geometrică, după caracterul lucrării — de recunoaștere, detaliu sau mare detaliu. Diferențele de gravitate obținute între capetele ciclurilor executate în cuprinsul ariei prospectate sînt puse cap la cap și combinate astfel încît să se obțină poligoane închise, transversale și bucle exterioare, pentru ca să se poată controla calitatea valorilor măsurate. Erorile de închidere se compensează pe circuite închise. În felul acesta se constituie rețeaua de gravitate măsurată compensată, care conține valorile relative ale cîmpului gravității pentru întreaga rețea de stații gravimetrice în aria prospectată, ca un sistem omogen și coerent de valori ale gravității.

Pentru a obține anomalia cîmpului gravității este necesară aplicarea în continuare a unor reduceri geofizice pentru valorile la care ne-am referit mai sus. Aceste reduceri, în afară de cea de cîmp normal, urmăresc să elimine atracțiile exercitate de masele reprezentate de relieful topografic și de formațiunile geologice care se găsesc pînă la suprafața elipsoidului geodezic de referință, ca și efectul diferenței de nivel dintre poziția stației pe relief și suprafața de reducere. Eliberate de aceste influențe, valorile relative ale lui g măsurate și compensate devin g'' raportate la o suprafață unică, identică cu aceea pentru care au fost determinate valorile γ_0, și deci comparabile între ele. Astfel, *anomalia cîmpului gravității* se exprimă ca

$$\Delta g_0'' = g_0'' - \gamma_0$$

și aceasta este mărimea care reflectă numai efectul corpurilor geologice ascunse.

Reprezentarea cartografică a anomaliei cîmpului gravității, care reprezintă în fapt informația gravimetrică, se poate face în două moduri: fie sub formă de hărți cu curbe de egală valoare, fie sub formă de profile de variație a acesteia.

2.2.3. PROSPECȚIUNEA ELECTROMETRICĂ

Prospecțiunea electrometrică și, mai ales, cea pentru minereuri, cuprinde un număr relativ mare de metode și tehnici bazate pe fenomene electrice diferite cum sînt: existența unor electropotențiale naturale sau răspunsul structurii geologice la excitarea acesteia cu un curent continuu ori alternativ, ultimul într-un domeniu mare de

frecvență care se înscrie între 5 cicli/s și 5 megacicli/s. În cele ce urmează ne vom referi numai la trei din aceste metode a căror aplicabilitate s-a dovedit cu rezultatele cele mai concludente în condițiile specifice ale structurii geologice și mineralizațiilor din țara noastră.

Prospecțiunea prin metoda potențialului natural. Această metodă se bazează, în primul rînd, pe activitatea electrochimică naturală care are loc în anumite condiții de zăcămînt ale rocilor sau mineralizațiilor în urma căreia, în spațiul înconjurător acestora din subsol, apare un cîmp electric propriu.

Fenomenele electrochimice principale sînt *oxidarea* și *reducerea*. Prin oxidare, roca sau mineralul pierde o cantitate de electroni, rămînînd cu o sarcină electrică pozitivă; prin reducere (cementare), fenomenul are loc invers, roca sau mineralul prezentînd o sarcină electrică negativă.

Potențiale electrice de oxidare și reducere apar îndeosebi la mineralizațiile de sulfuri metalice (mai ales pirită), oxizi (magnetit, hematit etc.), cărbuni de pămînt (ligniți inferiori, huilă, antracit), grafit și roci grafitoase. Astfel de electropotențiale nu apar însă decît în cazul în care fenomenul de oxidare este însoțit de cel de reducere, ceea ce are loc numai dacă acumularea de substanțe minerale utile îndeplinește următoarele patru condiții necesare și suficiente:

— să fie constituită dintr-o substanță bună conducătoare de electricitate;
— să aibă continuitate, adică granulele minerale să se atingă între ele;
— să se dezvolte pe verticală, astfel încît partea superioară a ei să se găsească deasupra nivelului hidrostatic al regiunii;
— substanța din care este constituită acumularea să fie oxidabilă.

În aceste condiții și numai în acestea, acumularea respectivă va suferi un fenomen de oxidare la partea ei superioară și unul de reducere la partea ei inferioară, căpătînd funcțiunea unei pile electrice naturale. În modul acesta, la suprafața solului apare o zonă de potențial electric negativ care poate fi pusă în evidență prin prospecțiunea geofizică și care trădează existența acumulării minerale ascunse la care a avut loc fenomenul electrochimic descris mai sus.

Electropotențialele naturale pot să mai apară și datorită unor fenomene fizice legate de circulația apelor mineralizate cum sînt difuzia, adsorbția, filtrarea și ascensiunea acestora prin capilaritate; aceste fenomene sînt însă mai puțin importante în prospecțiunea geofizică minieră.

Prospecțiunea electrometrică prin metoda potențialului natural constă în determinarea diferențelor de potențial între puncte echidistante la 10—50 m, situate pe profile liniare și constituind o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte de măsură. Aceste diferențe măsurate între două puncte învecinate se însumează algebric progresiv de-a lungul profilelor, obținîndu-se astfel variația potențialului natural pe fiecare profil în parte. Echipamentul folosit la acest gen de prospecțiune geofizică este constituit dintr-un potențiometru cu care se determină diferențele de potențial, electrozi nepolarizabili și cabluri electrice.

Rezultatele prospecțiunii prin această metodă se reprezintă cartografic sub formă de hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a acestei mărimi care reprezintă cele două feluri de materializare ale informației geofizice obținută pe această cale.

Prospecțiunea prin metoda rezistivităților. Este metoda cu cea mai largă aplicabilitate din categoria celor care se bazează pe introducerea unui curent electric continuu în subsol.

Mărimea fizică ce se determină în acest gen de prospecțiune geofizică este rezistivitatea aparentă ρ_a. Un dispozitiv de măsurare a rezistivității aparente (fig. X.38)

se compune dintr-o linie de alimentare AB prin care se introduce un curent continuu în subsol (doi electrozi simpli A și B, cabluri electrice și un generator de curent continuu care debitează un curent electric de intensitate I) și o linie de măsură MN (doi electrozi nepolarizabili M și N, cabluri electrice și un potențiometru pentru determinarea diferenței de potențial ΔV care apare între M și N). Se demonstrează că

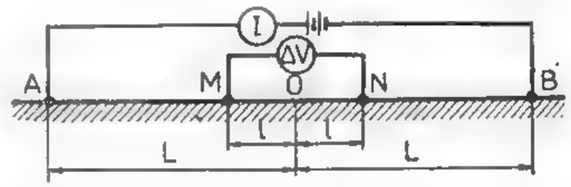


Fig. X.38. Exemplu de dispozitiv AMNB pentru determinarea rezistivității aparente.

valoarea rezistivității aparente și care se raportează în punctul situat la mijlocul liniei de măsură se obține din relația

$$\rho_a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I}$$

în care K reprezintă o constantă care depinde de geometria fiecărui dispozitiv, respectiv de cele patru distanțe dintre electrozii de alimentare și cei de măsură, precum și de factorul de spațiu 2π.

În practică se folosesc dispozitive cuadripolare AMNB cu geometrii diferite și anume: cu cei patru electrozi așezați coliniar și simetrici doi cîte doi față de centrul dispozitivului (Schlumberger) sau echidistanți între ei (Wenner), ori cu trei electrozi apropiați și unul foarte îndepărtat, cu liniile AB și MN separate și coliniare sau necoliniare (pol-dipol și dipol-dipol) și altele.

Ca semnificație fizică, *rezistivitatea aparentă* reprezintă valoarea rezistivității unui subsol ipotetic, omogen și izotrop din punct de vedere electric, mărginit de suprafețe plane și orizontale, care ar da aceeași valoare a diferenței de potențial ΔV măsurată în condiții experimentale similare, respectiv cu același dispozitiv AMNB și folosind aceeași intensitate de curent I. În realitate, subsolul neavînd o stratificație orizontală și nefiind nici omogen și izotrop, rezistivitatea aparentă ρ_a reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice ale rocilor care îl constituie, obținută prin măsurători de suprafață a diferenței de potențial și a intensității curentului electric, cu un dispozitiv cuadripolar adecvat.

Mai este necesar de precizat un lucru important și anume că adîncimea de investigație a unui dispozitiv AMNB este de 0,2 pînă la 0,5 din lungimea liniei de alimentare AB. Cu alte cuvinte, valoarea rezistivității aparente ρ_a determinată pe această cale reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice a rocilor din subsol pe o grosime, considerată de la suprafața solului, de 0,2—0,5 din lungimea liniei de alimentare folosite.

Metoda rezistivității poate fi utilizată în două variante:

— Una este așa-numita *profilare electrică*, utilizînd un dispozitiv AMNB de tip *Wenner* cu geometrie fixă, care este deplasat succesiv cu o anumită distanță de-a lungul unor profile paralele. Valorile ρ_a astfel obținute, comparabile între ele deoarece se referă la aceeași adîncime de investigație, servesc la construirea unor hărți cu curbe de egală valoare a acestei mărimi care reprezintă informația geofizică în acest caz. În funcție de caracteristicile geologice ale regiunii de prospectat pot fi folosite și alte

tipuri de dispozitive, ca de exemplu dipol-dipol, ceea ce nu schimbă însă cu nimic natura informaţiei geofizice dar, pentru anumite situaţii particulare o îmbogăţeşte în conţinut.

— Cea de-a doua variantă este *sondajul electric vertical*. În acest caz se determină variaţia rezistivităţii aparente cu adîncimea, într-un sistem de puncte care aparţin unei configuraţii geometrice sau de o formă oarecare situate la suprafaţa solului. Acest lucru este posibil prin modificarea succesivă în fiecare punct a lungimii liniei de alimentare AB, linia de măsură MN fiind menţinută practic constantă. Dispozitivul cuadripolar folosit este de tip *Schlumberger*. Pentru fiecare lungime AB din cadrul unui sondaj electric vertical se determină valoarea rezistivităţii aparente şi acest sistem de valori este proiectat pe o hîrtie dublulogaritmică în raport cu semilungimea liniei AB respective, valorile fiind apoi unite printr-o curbă continuă. Acest grafic, reprezentînd *diagrama sondajului electric vertical*, oferă o indicaţie asupra variaţiei cu adîncimea rezistivităţilor specifice ale rocilor din subsol şi reprezintă informaţia geofizică furnizată de sondajul electric vertical.

Metoda rezistivităţilor este aplicabilă practic în orice problemă de geologie minieră.

Prospecţiunea prin metoda polarizaţiei induse. Polarizaţia indusă apare în anumite situaţii geologice, atunci cînd în subsol este introdus un curent continuu — pulsat într-un singur sens sau în ambele sensuri — ori un curent alternativ. Această manifestare electrică are la bază două fenomene de natură diferită, aşa cum se arată mai jos.

Unul din acestea este *polarizaţia de electrod*. Aşa cum s-a mai arătat, rocile fiind nişte agregate poliminerale reprezintă medii de mare complexitate pentru propagarea curentului electric prin ele, conţinînd granule de minerale metalice cu conductibilitate electronică şi de alte minerale care se comportă practic ca nişte dielectrici, precum şi apă cu un oarecare grad de mineralizare caracterizată prin conductibilitate ionică.

Dacă un astfel de mediu este supus unei diferenţe de potenţial electric, la trecerea curentului printr-o granulă metalică se formează pe suprafeţele interioare ale acesteia un strat electric simplu — negativ în zona de intrare a curentului şi pozitiv în cea de ieşire a lui —, care vor atrage din soluţie ionii liberi de semn contrar. În modul acesta se vor constitui, în cele două zone ale granulei metalice, două strate electrice duble cu polaritate opusă.

La întreruperea diferenţei de potenţial aplicate, aceste strate duble se distrug. Sarcinile electrice din interiorul granulei se neutralizează reciproc, refăcîndu-se echilibrul electric iniţial al acesteia. Sarcinile ionilor concentraţi pe cele două feţe exterioare opuse ale granulei dau acesteia caracterul unui mic condensator care se descarcă.

Descărcarea simultană a tuturor acestor mici condensatori în masa rocii, la întreruperea curentului electric, reprezintă tocmai polarizaţia indusă care dispare într-un timp scurt prin redistribuirea uniformă a ionilor în soluţie.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a mineralizaţiilor cu conţinut scăzut în metal (de tip „porphyry copper", de impregnaţie etc.).

Cel de-al doilea fenomen generator de polarizaţie indusă este aşa numita *polarizaţie de membrană*, caracteristică rocilor predominant argiloase. Dacă o astfel de rocă este supusă unei diferenţe de potenţial, ionii din soluţia care îmbibă porii rocii sînt puşi în mişcare, iar granulele de minerale argiloase au un rol de adsorbţie selectivă (electrodializă) a acestora. Mobilitatea diferită a ionilor, mai mare a cationilor şi mai mică a anionilor, generează gradienţi de concentrare ionică şi prin aceasta efecte de polarizaţie indusă care, de asemenea, dispar după un timp scurt de la întreruperea aplicării diferenţei de potenţial, datorită redistribuirii în forma iniţială a ionilor în soluţia mineralizată.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a zonelor de alterare hidrotermală — în sensul caolinizării — a rocilor magmatice, zone cărora le sînt afiliate procese de metalogeneză şi mineralizaţii auro-argentifere şi de sulfuri complexe de tip filonian, volburi etc.

Prospecţiunea prin metoda polarizaţiei induse se poate realiza în două moduri, conducînd la mărimi fizice cu dimensiuni diferite. Trebuie totuşi precizat de la început că în ceea ce priveşte conţinutul geologic al informaţiilor nu există deosebiri esenţiale între acestea.

O formă de astfel de prospecţiune este cea din domeniul timp, la care se foloseşte un curent electric continuu, pulsat de obicei în ambele sensuri. În acest caz se măsoară următorii doi parametri:

— *polarizabilitatea aparentă* η_a

$$\eta_a = \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}}$$

care se exprimă în % sau în mV/V şi reprezintă raportul dintre diferenţa de potenţial indus determinată la un interval foarte scurt după întreruperea curentului electric şi diferenţa de potenţial care apare în timpul introducerii curentului electric;

— *factorul de încărcare* M_a

$$M_a = \int_0^t \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}}\, dt$$

care se exprimă în milisecunde.

Cea de-a doua formă este în domeniul frecvenţă, pentru care se foloseşte curent electric alternativ. Se măsoară următorii doi parametri:

— primul este *efectul de frecvenţă* F_e

$$F_e = \frac{\rho_{a_1} - \rho_{a_2}}{\rho_{a_1}}$$

exprimat în procente, ρ_{a_1} şi ρ_{a_2} reprezentînd rezistivităţile aparente pentru frecvenţa cea mai joasă, respectiv cea mai înaltă, a curentului introdus în subsol;

— al doilea parametru, în acest caz, este *factorul metalic* M_f

$$M_f = \frac{F_e}{\rho_{a_1}} \cdot C$$

care are dimensiuni de conductibilitate electrică, C fiind o constantă fără dimensiuni.

Dispozitivele de măsură pentru acest gen de prospecţiune geofizică sînt de tip AMNB, asemănătoare cu cele folosite în metoda rezistivităţior, cu preferinţă pentru cele dipol-dipol sau pol-dipol, cînd se execută profilare electrică, şi pentru cel de tip *Schlumberger*, cînd se execută sondaj vertical de polarizaţie indusă. Echipamentul pentru linia AB este ceva mai complicat, în afară de generatorul de curent (în cazul în care folosim curent continuu mai este necesar un pulsator şi un inversor de curent) mai conţinînd un timer electronic. Cel pentru linia de măsură MN este, de asemenea, mai complex, conţinînd o reţea integratoare, amplificatoare şi un oscilograf înregistrator.

Este, de asemenea, de precizat că cu un acelaşi dispozitiv se determină totdeauna şi rezistivitatea aparentă ρ_a.

Informaţia geofizică obţinută prin metoda polarizaţiei induse se concretizează în hărţi cu curbe de egală valoare, diagrame de sondaj şi secţiuni geoelectrice a diferiţilor parametri folosiţi în această metodă.

2.2.4. PROSPECŢIUNEA RADIOMETRICĂ

Acest gen de prospecţiune geofizică are ca obiect punerea în evidenţă a anomaliilor intensităţii radiaţiei γ ca urmare a dezintegrării naturale a mineralelor elementelor radioactive acumulate în zăcăminte sau asociate unor alte tipuri de mineralizaţii, mai frecvent de elemente rare şi disperse ori de minerale grele.

Mărimea fizică determinată este *intensitatea radiaţiei* γ globale, în care caz se folosesc radiometre bazate fie pe ionizarea aerului la sol sau ionizarea unui amestec de gaze, fie pe fenomenul de scintilaţie. Introducerea mai recentă a spectrometriei permite ca pe lîngă intensitatea radiaţiei γ globale să se determine şi separat componentele acesteia, respectiv cele uranică, thorică şi potasică. Se mai poate determina şi concentraţia radonului sau thoronului în probe de aer din sol, folosind emanometre bazate pe ionizarea acestuia, concentraţii care sînt proporţionale tot cu intensitatea radiaţiei γ globale.

Lucrările de prospecţiune radiometrică pot fi executate cu aparatură aeropurtată de elicoptere sau avioane, ori prin măsurători cu radiometre sau emanometre în diferite puncte la sol situate la distanţe de zeci sau sute de metri, atunci cînd au caracter regional; pentru lucrări de detaliu se realizează numai măsurători la sol, în reţele de puncte cu configuraţie geometrică sau oarecare, dar situate la distanţe de ordinul metrilor sau a cîteva zeci de metri între ele.

Valoarea brută a intensităţii radiaţiei γ globale, în afară de efectul corpurilor geologice din subsol care prezintă interes, mai conţine o serie de efecte provenite de la cauze neinteresante şi de care trebuie să fie eliberate. Aceasta se realizează prin aplicarea următoarelor reduceri: de fond radiometric (efectele radiaţiei cosmice, a materialelor din care este construit aparatul de măsura şi a formaţiunilor geologice superficiale), de altitudine, de latitudine geomagnetică şi de relief topografic.

După îndepărtarea acestor efecte se obţine anomalia intensităţii radiaţiei γ globale în fiecare punct de măsurare, care serveşte la construirea de hărţi cu curbe de egală valoare sau de profile de variaţie a acestei mărimi. Aceste două forme de exprimare cartografică reprezintă informaţia geofizică obţinută prin această metodă de prospecţiune.

2.2.5. PROSPECŢIUNEA SEISMOMETRICĂ

Această metodă de prospecţiune geofizică este destinată aproape în exclusivitate studierii structurii cuverturilor sedimentare şi se bazează pe producerea la suprafaţă sau la adîncimi mici a unui cîmp de unde elastice — din care utile prospecţiunii sînt numai cele longitudinale — şi valorificarea acelor unde care, fiind deviate din drumul lor spre în jos prin reflexie sau refracţie pe anumite limite de separaţie dintre roci sau formaţiuni geologice, se reîntorc la suprafaţă unde sînt înregistrate la intervale de timp riguros determinate faţă de momentul producerii lor. Devierea undelor elastice pe

limite de separaţie care despart medii cu viteze de propagare v_1 şi v_2 este controlată de *legea lui Snell*

$$\frac{\sin i}{\sin d} = \frac{v_1}{v_2}$$

în care i şi d sînt unghiurile de incidenţă, respectiv de deviere, pe limita de separaţie.

Echipamentul folosit în prospecţiunea seismometrică este foarte complicat, de fapt cel mai complicat dintre toate metodele geofizice.

Pentru producerea cîmpurilor de unde elastice se folosesc explozii cu cantităţi relativ mici de exploziv care se produc în găuri burate, săpate cu instalaţii autopurtate de foraj sau manual; condiţia este ca explozia să aibă loc în roca vie, respectiv gaura să depăşească grosimea stratului de suprafaţă care este caracterizat prin viteze mici, fiind constituit din roci slab consolidate — în general cuaternare — sau alterate.

Înregistrarea sosirii la suprafaţă a undelor elastice deviate de diferite limite de separaţie din subsol se face pe o seismogramă, pe care se poate determina atît momentul exploziei cît şi sosirile diferitelor unde. Obţinerea acestor înregistrări se realizează, pentru un punct oarecare situat la o distanţă anumită de punctul de explozie, folosind un canal seismic şi o cameră de înregistrare. Un canal seismic este compus dintr-un geofon (traductor de semnal care transformă oscilaţiile solului apărute în momentul sosirii undei în variaţii de curent electric) plasat în punctul respectiv, cablu electric, o aparatură de prelucrare a semnalului (amplificatoare, filtre, regulator de amplitudine, mixer etc.) şi un galvanometru (traductor de semnal care transformă variaţiile de curent electric din nou în deplasări). Camera de înregistrare conţine un tambur acţionat de un motoraş electric, pe tambur derulîndu-se o banda de hîrtie fotosensibila sau un film foto pe care cade spotul luminos reflectat de oglinda galvanometrului, un marcator de timp şi alte elemente cu funcţiuni auxiliare. Cu o astfel de aparatură se obţine o înregistrare oscilografică.

Mai nou a fost realizată aparatură seismică cu înregistrare magnetică, analogică sau digitală. Diferenţa dintre acestea şi cea cu înregistrare oscilografică constă în faptul că la canalul seismic galvanometrul este înlocuit cu un cap electromagnetic de înregistrare şi, semnalul seismic brut, fără a fi prelucrat electronic, este înregistrat direct pe o bandă magnetică ce reprezintă acum magnetoseismograma. Prelucrarea magnetoseismogramei are loc într-un analizor care permite să se realizeze o serie de prelucrări (filtrări, amplificări, convoluţii, auto şi retrocorelaţii etc.) şi transformate în reprezentări grafice cu ajutorul unui cap de redare.

Prospecţiunea seismometrică se execută pe profile liniare, constituite din dispozitive succesive. Un dispozitiv conţine un punct de explozie şi o serie de puncte de înregistrare, echidistante şi situate la intervale diferite în funcţie de metoda folosită — *refracţie* sau *reflexie* — şi de numărul canalelor echipamentului de înregistrare care poate fi, în general, între 6 şi 48.

În geologia minieră se folosesc ambele variante ale prospecţiunii seismometrice.

Pentru acumulările reziduale de bauxită sau pentru masivele de sare, mai eficienta este varianta bazată pe refracţia undelor elastice. În acest caz se foloseşte unda directă, care se propagă prin limita aer/sol şi unda frontală care se propagă prin limita de separaţie cu viteza mediului inferior v_2. În ipoteza că limita de separaţie este orizontală, iar mediile sînt omogene şi izotrope din punct de vedere elastic, timpii

de propagare ai acestor două unde pînă la un geofon situat la distanța x de punctul de explozie vor fi

$$t_1 = \frac{x}{v_1}$$

și

$$t_2 = \frac{x}{v_2} + \frac{2z \cdot \cos i_c}{v_1}$$

z fiind adîncimea limitei de separație, iar i_c unghiul critic de incidență care generează unda frontală.

După cum se poate lesne remarca, relațiile de mai sus — care mai poartă numele și de *ecuațiile hodografului undelor refractate* — au ca echivalent geometric prima o semidreaptă care trece prin origine și are panta $1/v_1$ și a doua o semidreaptă care nu trece prin origine și are panta $1/v_2$. Reprezentarea grafică într-un sistem de coordonate cu x în abscisă și t în ordonată oferă toate elementele pentru determinarea adîncimii z a suprafeței de refracție, v_1 și v_2 fiind determinați din pantele segmentelor din grafic, iar i_c fiind — conform legii lui *Snell* pentru $d = 90°$ — dat de relația $\sin i_c = v_1/v_2$ (fig. X.39).

S-a schițat în cele de mai sus calea de rezolvare a problemei pentru o limită de separație orizontală, deoarece relațiile drum-timp în acest caz sînt mai simple.

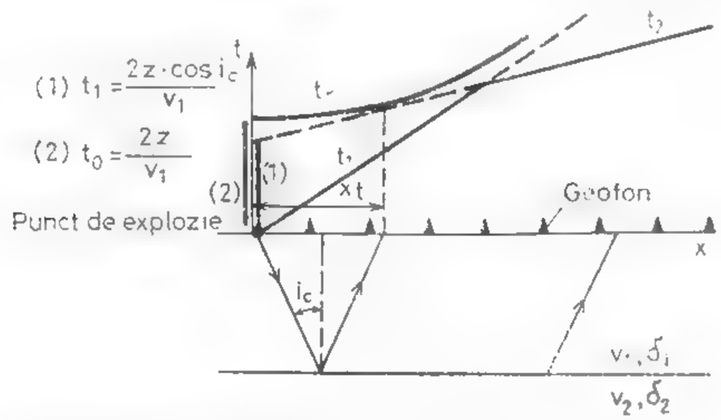


Fig. X.39. Hodografii de reflexie și refracție în cazul unei limite de separație orizontală.

Principial însă, problema are soluție și pentru o limită de formă oarecare, de altfel cazul real întîlnit în natură și rezolvabil prin această variantă.

Pentru acumulările stratiforme de cărbuni, rocă cu sulf, gresii fosforice și altele, situate la adîncimi mai mari, mai eficientă este varianta de prospecțiune seismometrică bazată pe reflexiea undelor elastice. Reflexia acestor unde are loc atunci cînd unghiul de incidență este mai mic decît unghiul critic i_c, astfel încît unda să se reîntoarcă la suprafață prin același mediu prin care s-a propagat către în jos.

Vom arăta și pentru această variantă, principial, care este soluția problemei, pornind tot de la cazul cel mai simplu, și anume al unei limite orizontale de separație care desparte două medii omogene și izotrope din punct de vedere elastic. În această situație, ecuația hodografului undei reflectate pentru un punct oarecare situat la distanța x de punctul de explozie este

$$t = \frac{1}{v_1} \sqrt{x^2 + 4z^2}$$

z fiind și în acest caz adîncimea limitei de separație, respectiv a suprafeței de reflexie.

De data aceasta, echivalentul geometric al ecuației drum-timp nu mai este o semidreaptă, ci o hiperbolă. Este clar că cunoscînd pe x și v_1, se poate determina imediat adîncimea z. În practică, se construiește și pentru acest caz un grafic în raport cu x și t, din care se poate deduce atît viteza v_1 cît și adîncimea z. Și pentru reflexie, trecerea de la o limită orizontală la una înclinată sau de formă oarecare se face fără dificultăți de principiu.

Intervalele de timp scurse între momentul exploziei și sosirea undelor elastice la fiecare geofon, notate în relațiile de mai sus cu t și care sînt măsurate pe seismograme, trebuie în prealabil corectate cu efectul reliefului (diferența de cotă topografică între punctul de explozie și geofon), precum și cu efectul zonei de viteze mici de la suprafață. După aceea se construiesc hodografii și se determină forma și poziția în adîncime a suprafețelor de refracție, respectiv de reflexie.

Rezultatele prospecțiunii seismometrice se concretizează în secțiuni seismice conținînd, în planul vertical al profilului, suprafețele de refracție sau de reflexie. Pe baza unui sistem de profile, care au și puncte comune între ele, se pot construi apoi hărți structurale cu izobate pentru fiecare suprafață de deviere a undelor elastice. Acestea sînt formele pe care le îmbracă informația geofizică în cazul acestei metode de prospecțiune.

2.2.6. PROSPECȚIUNEA GEOTERMICĂ

Prospecțiunea geotermică are ca obiect determinarea anomaliilor de temperatură la suprafața Pămîntului, ca rezultat al existenței unor cîmpuri termice naturale de răspîndire locală, care iau naștere datorită unor reacții exotermice (fenomene de oxidare ale unor mineralizații de sulfuri sau a capetelor de strate de cărbuni) sau endotermice (fenomene de dizolvare a sării și altele).

Aparatura necesară este reprezentată de termocuple, termopile sau, mai nou, termometre cu punte electrică avînd ca element termosensibil unul sau mai mulți termistori, a căror precizie de determinare a temperaturilor este de $\pm$ 0,1°C. Măsurătorile se execută în găuri de circa 2 m adîncime, realizate cu instalații ușoare de foraj mecanic sau manual și de preferință închise la partea superioară după coborîrea aparatului, pentru a se elimina influența temperaturii exterioare. Echilibrul termic, în aceste condiții, este realizat în circa 1 oră, însă durata unei măsurători pentru atingerea preciziei dorite este indicat să fie mai mare, și anume de 2—3 ore.

Măsurătorile se execută într-o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte, cu distanța între ele de ordinul metrilor pînă la zeci de metri.

Pentru stabilirea anomaliilor geotermice este necesar ca valorilor brute de temperatură măsurate în găuri să li se aplice reduceri pentru eliminarea efectelor radiației

solare, a vegetației de la suprafață și a reliefului topografic. Rezultatele sînt consemnate în hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a temperaturii, ambele reprezentînd forme de exprimare grafică a informației geofizice furnizată de această metodă.

2.2.7. TELEDETECȚIA

Teledetecția reprezintă un complex de tehnici și tehnologii care urmăresc obținerea de la distanță a unor informații asupra Pămîntului, unor planete, spațiului aerian și a celui interplanetar. Fenomenele fizice pe care se bazează sînt reflexia, refracția și absorbția undelor electromagnetice, precum și emisii ale acestora de către anumite corpuri ca urmare a interacțiunii cu ele.

După cum este cunoscut, spectrul de frecvență, respectiv de lungimi de undă λ, al undelor electromagenetice este foarte mare și acesta se împarte în cîteva zone distincte și anume: radiația γ ($\lambda < 0,1$ Å); radiația X ($\lambda = 0,1$ Å-100 Å); radiația ultravioletă ($\lambda = 100$ Å $-4\,000$ Å); radiația luminoasă sau spectrul vizibil ($\lambda = 0,400-0,750$ μm); radiația infraroșie ($\lambda = 0,750-100$ μm); unde ultrascurte sau radar ($\lambda = 100$ μm-140 cm); undele radio (λ de la 140 cm pînă la cîteva sute de km).

Ne vom opri atenția numai asupra aplicației teledetecției la studierea Pămîntului. Sursa principală de energie a suprafeței Pămîntului o constituie energia radiată de către Soare. Suprafața terestră reflectă, absorabe și emite energie. Din energia primită de la Soare numai 22% este înapoiată ca radiație difuză de către scoarța terestră, restul fiind absorbit de atmosferă și spațiul cosmic. La aceasta se mai adaugă, în situații favorabile, energia termică ce provine din interiorul Pămîntului.

Această energie prezentă la suprafața terestră este înregistrată de la distanță cu echipamente adecvate, denumite *captori-sensori*. Captorii pot fi *fotografici* (camere fotografice normale, metrice sau dispozitive fotografice multispectrale), *radiometre* (în domeniul vizibil, infraroșu sau sisteme termovizion) și *spectrometre*. Senzorii pot fi *de baleiere* (optico-mecanică, în infraroșu, în ultraviolet și multispectrală), *de televiziune* (camere de televiziune sau sisteme de foto-televiziune) și *radar*. Se disting două tipuri de sensori: *pasivi*, atunci cînd aceștia înregistrează energia naturală provenită de la obiectul de studiu și *activi*, cînd se transmit impulsuri către obiect și se primește răspunsul acestuia, cum este în tehnicile radar și sonar.

Echipamentele de înregistrare sînt plasate pe platforme, la o distanță oarecare de suprafața Pămîntului. Aceste platforme pot fi aeriene (baloane, avioane, elicoptere, dirijabile, planoare) sau spațiale (circumterestre fără sau cu oameni la bord și extraterestre, pînă în prezent fără oameni la bord).

În teledetecție se folosește atît fotografia convențională — în alb-negru și color — cît și cea neconvențională — spectrozonală, multispectrală, fals color și color compus; de asemenea, este utilizată preluarea nefotografică a imaginilor, prin înregistrarea radiațiilor în scopul realizării de imagini multispectrale, avînd la bază conversia energiei radiației electromagnetice în semnale electrice.

Datele înregistrate de la distanță sînt stocate sub formă de imagini fotografice sau pe benzi magnetice. Se disting *stocări analogice* — fie fotografii, fie benzi magnetice care prin prelucrare ulterioară se transformă în fotografii alb-negru, color convențional sau natural —, precum și *stocări digitale* care de asemenea se transformă în astfel de imagini fotografice sau în listaje de valori.

Reiese, din cele de mai sus, că informația geofizică obținută prin teledetecție este reprezentată de fotografii sau liste de valori.

Interpretarea acestor informații se face fie cu ochiul liber, prin studiere directă sau cu instrumente optice în sistem stereoscopic ori monoscopic, fie pe bază de programe pe calculatorul electronic. În toate cazurile se folosesc modele de interpretare stabilite cu ajutorul unor zone-test de pe suprafața Pămîntului, avînd caracteristici cunoscute sau alese în mod deliberat.

În concluzie, se poate spune că teledetecția reprezintă un complex de activități constînd din înregistrarea de la distanță a radiației electromagnetice de către un sensor, transformarea acesteia în imagini fotografice sau în semnale electrice, transmiterea lor către memoria unui calculator electronic, prelucrarea, corectarea și transformarea tot cu ajutorul calculatorului în imagine vizuală, selecționată sau clasificată și interpretarea acesteia prin comparare cu eșantioane avînd caracteristici definite.

Aplicațiile teledetecției în geologie sînt încă relativ restrînse. Pe lîngă fotointerpretarea aerofotogramelor care aduce elemente în sprijinul cartării geologice (diferențierea litologică a stratelor, stabilirea poziției lor, determinarea faliilor și fracturilor etc.), mai importante sînt următoarele:

— interpretarea înregistrărilor în infraroșul termic ($\lambda = 3-20$ μm) care pune în evidență diferențele și variațiile de temperatură și umiditate la suprafața terestră sau din profunzime, reflectînd inerția termică a diferitelor tipuri de roci sau de acumulări de substanțe minerale utile;

— interpretarea imaginilor și mozaicurilor realizate prin folosirea radarului, care pun în evidență unele trăsături liniare ale structurii geologice, mai pronunțat marcate decît pe fotografia aeriană, legate de falii, fracturi sau forme plicative de cutare.

Principalele informații de teledetecție au fost obținute prin *programul Landsat* (sateliții ERTS-1 lansat în 1972, EROS în 1975 și Landsat 3 în 1978, cu orbite circumterestre la circa 900 km înălțime față de suprafața Pămîntului). Ca rezultate mai importante, pînă acum se pot menționa delimitarea unor zone hidrotermale cărora le sînt asociate depozite minerale în Nevada (S.U.A.), studierea și testarea caracteristicilor reflectate în teledetecție de zăcămintele de cupru din Pakistan care au fost apoi folosite pentru descoperirea de noi mineralizații și altele.

Teritoriul țării noastre, este acoperit în întregime, cu 25 de imagini obținute prin sateliții *Landsat* 1, 2 și 3, iar interpretarea geologică a acestora este în curs de realizare.

2.2.8. CERCETĂRI GEOFIZICE ÎN SUBTERAN

O categorie aparte de măsurători geofizice, care nu mai au caracter propriu-zis de prospecțiune și pe care am putea-o numi *geofizică de mină* (Botezatu, 1971), o reprezintă cercetările geofizice în subteran, respectiv în puțuri, galerii și orizonturi miniere, suitori și planuri înclinate. Scopul principal al acestor măsurători este de a obține informații suplimentare asupra dezvoltării spațiale a mineralizațiilor traversate de astfel de lucrări, precum și asupra existenței eventuale a unor alte acumulări minerale nepuse încă în evidență și situate în orice direcție a spațiului, în raport cu lucrările miniere existente, pînă la distanțe de investigație corespunzătoare performanțelor aparaturii și tehnicii de lucru existente la un moment dat.

Față de lucrările de prospecțiune, cele efectuate în subteran se lovesc de la început de o dificultate principială și anume: în prospecțiune, cîmpurile fizice măsurate sînt produse de obiecte geologice cu rol de surse de potențial situate în subsol, deci într-un semispațiu 2π, în timp ce în cazul cercetărilor în subteran măsurătorile se

efectuiază chiar în interiorul, lateral sau dedesubtul surselor de potenţial, aşadar într-un spaţiu întreg 4π. Această situaţie implică o serie de complicaţii de natură teoretică privind semnificaţia mărimilor fizice determinate, precum şi necesitatea introducerii unor corecţii şi forme de reprezentare grafică specifice acestui gen de măsurători geofizice.

Aparatura folosită pentru cercetările geofizice în subteran este aceeaşi care se utilizează şi în metodele de prospecţiune; tehnicile de lucru sînt însă modificate, adaptate condiţiilor din subteran.

Măsurătorile geofizice cele mai larg folosite în subteran sînt cele radiometrice. De altfel, radiometria nu se limitează numai la faza de prospecţiune de la suprafaţă, ci însoţeşte continuu — servind ca un mijloc rapid de control — toate lucrările, începînd cu explorarea şi apoi cu exploatarea, sortarea masei miniere utile şi eliminarea sterilului şi terminînd cu determinarea indirectă a conţinutului producţiei miniere.

Măsurătorile magnetice practic sînt imposibil de efectuat în subteran din cauza prezenţei masive a unor obiecte de fier (şine de cale ferată îngustă, vagoneţi, scule, conducte de aeraj, cabluri electrice şi altele).

Cercetările gravimetrice nu au astfel de limitări, aşa încît acestea se pot efectua cu relativ destul de mult succes, deşi comportă calcule foarte laborioase îndeosebi pentru reducerea efectelor create de excavaţiile miniere. Pe baza unor astfel de măsurători în puţuri şi galerii la mai multe nivele, ca şi în orizonturile miniere, se pot construi hărţi gravimetrice de orizont şi secţiuni gravimetrice verticale cu ajutorul cărora se pot obţine indicaţii utile asupra delimitării în spaţiu a corpurilor geologice care au produs anomaliile gravimetrice ce au fost cartate la suprafaţă.

Rezultatele cele mai valoroase se obţin prin măsurători electrometrice. Acestea pot fi făcute folosind metoda potenţialului natural, urmărind corelarea anomaliilor din subteran cu cele determinate la suprafaţă, pentru stabilirea unor criterii de discriminare între anomaliile produse de mineralizaţii de interes economic şi cele produse de diseminări neimportante sau de alte cauze neinteresante cum sînt rocile grafitoase sau unele tipuri de roci porfirogene, zone de caolinizare puternică şi altele. De asemenea, metoda rezistivităţilor poate aduce în unele situaţii informaţii deosebit de interesante, ca de pildă folosind o variantă de concepţie românească a sondajului electric de rezistivitate; aceasta este reprezentată de sondajul electric cu orientare de investigaţie dirijată pe direcţii orizontale sau verticale faţă de axa galeriei şi construirea de secţiuni geoelectrice care dau indicaţii asupra surselor de anomalii electrice situate lateral faţă de pereţii galeriei, deasupra sau dedesubtul acestora. Folosind în afară de rezistivitatea aparentă şi parametrii polarizaţiei induse, spectrul informaţional este sensibil îmbunătăţit.

Metodele electromagnetice încorporează şi o variantă specifică lucrărilor în subteran numită *metoda umbrei electromagnetice* sau *metoda transparenţei*.

Această metodă se bazează pe proprietatea pe care o au mediile bune conducătoare de electricitate de a avea un coeficient mare de absorbţie a undelor electromagnetice de înaltă frecvenţă, respectiv cu frecvenţe de ordinul de mărime al undelor radio. În aceste condiţii, undele electromagnetice vor străbate relativ uşor rocile cu conductibilitate electrică mică, însă nu vor putea străbate aproape de loc corpurile de mineralizaţii metalifere care se găsesc eventual în astfel de roci, între două orizonturi miniere sau între cel superior şi suprafaţă. Pentru localizarea acestor corpuri se folosesc cadre emiţătoare şi receptoare plasate succesiv la două nivele, prezenţa corpului conductor producînd un con de umbră în care semnalul transmis nu se manifestă în cadrul receptor. Prin inversarea plasării cadrelor emiţătoare cu cele receptoare se obţine un al doilea con de umbră, la intersecţia celor două conuri, între cele două orizonturi

miniere putîndu-se localiza corpul cu mineralizaţie metaliferă la un grad de încredere ridicat.

Celelalte metode geofizice, ca cea seismometrică sau geotermică de pildă, nu au cunoscut decît încercări sporadice de aplicare, cu rezultate nu întotdeauna concludente.

Marile avantaje ale cercetărilor geofizice în subteran sînt pe de o parte că ele se efectuează la distanţe relativ mici faţă de acumulările de substanţe minerale utile, ceea ce se reflectă într-o intensitate mai ridicată a anomaliilor şi o localizare mai precisă a cauzelor care le produc, şi pe de altă parte, că rezultatele unor astfel de cercetări pot fi repede controlate prin foraje GP sau nişe, astfel încît pot servi la orientarea mai judicioasă a lucrărilor de explorare şi de exploatare.

2.3. ÎNTERPRETAREA GEOLOGICĂ A INFORMAŢIILOR GEOFIZICE CONDIŢIONATE DE ACUMULĂRILE DE SUBSTANŢE MINERALE SOLIDE

În esenţă, interpretarea geologică a informaţiei geofizice, respectiv — aşa cum a fost definită — a suportului material al mesajelor fizice şi geologice provenite din subsol, reprezintă transformarea acesteia într-un model al structurii geologice ascunse sau a acumulărilor de substanţe minerale utile pe care ea le conţine. Practic este vorba de a determina localizarea în subsol, forma şi dimensiunile, natura şi tipul geologic-mineralogic şi, în general, de a stabili o imagine cît mai completă asupra obiectului sau obiectelor geologice de prospectat, inaccesibile observaţiei geologice directe, din nişte informaţii geofizice, ca rezultat al unor măsurători de cîmpuri fizice efectuate şi raportate la suprafaţa Pămîntului.

Din cauza acestei situaţii particulare în care geofizicianul îşi desfăşoară activitatea sa, apare necesitatea ca el să opereze cu *modele geofizice*. De la început trebuie să ne fie clar că pentru a construi un model este necesar a simplifica. Se impune, de asemenea, ca aceste modele să fie flexibile, versatile, să aibă caracteristici care pot fi repede şi uşor testate pe baza informaţiilor geofizice, petrofizice şi geologice de care dispunem. Dacă potrivirea nu este bună, atunci modelul trebuie modificat, uneori printr-un proces de aproximaţii succesive, pînă cînd va corespunde cel puţin în limite acceptabile. Un astfel de model geofizic va fi folositor numai atunci cînd va fi capabil să reproducă cele mai semnificative trăsături caracteristice ale informaţiilor de la care s-a plecat la elaborarea şi optimizarea lui.

Privit pe un plan foarte general, un model este pur şi simplu un set ordonat de prezumţii referitoare la un sistem complex. Prin selectarea, pe baza percepţiilor şi a unei experienţe acumulate, a unui grup de observaţii generale aplicabil la o anumită problemă se face o încercare de înţelegere a informaţiei de la care se pleacă. Un model geofizic reprezintă încorporarea teoriei şi a informaţiilor obţinute experimental, furnizate de prospecţiunea geofizică. Din necesitate, el trebuie să reprezinte un compromis între simplitate şi realitate. Niciodată nu va putea fi un model atotcuprinzător, deoarece realitatea geologică este întotdeauna foarte complexă şi complicată. Rolul principal al modelului geofizic este de a explica semnificaţia geologică a informaţiilor obţinute pe cale indirectă. Ca orice model, în oricare din ştiinţele experimentale, el rămîne totuşi imperfect, suprasimplificat şi nefinisat, reprezentînd — în ultimă instanţă — o copie incompletă, cu caracter simulativ, a realităţii geologice.

Modelele geofizice pot fi de două feluri și anume:

— calitative, atunci cînd se bazează pe corelații și speculații logice, deci operații pur mintale, transpuse apoi într-un text explicativ;

— cantitative, atunci cînd la cele de mai sus se adaugă determinări de formă, dimensiuni, adîncimi etc. pe baza unor calcule privind sursele de anomalii geofizce și de efecte ale acestora care se compară cu anomaliile cartate pînă la obținerea unei concordanțe satisfăcătoare între ele.

Forma de prezentare a modelelor geofizice, conținînd caracteristicile principale ale acestora, este întotdeauna grafică, adaptată și paralelizată formelor de reprezentare folosite în activitatea geologică, respectiv secțiuni, hărți structurale, bloc-diagrame, machete etc. Prin astfel de forme de reprezentare grafică modelul geofizic de simulare se încadrează în suita modelelor construite numai pe baza informațiilor geologice, contribuind la creșterea gradului de înțelegere și de cunoaștere a structurii geologice ascunse a subsolului.

În cele ce urmează vom prezenta cîteva cazuri de interpretare geologică a informațiilor geofizice pentru principalele grupe de substanțe minerale utile solide care fac obiectul activității miniere.

2.3.1. MINERALIZAȚII DE METALE FEROASE

În această grupă sînt incluse în primul rînd mineralizațiile de fier și de mangan; tot din aceasta fac parte și cele de titan, crom, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și altele. La detectarea unor astfel de mineralizații prin metodele geofizice pot fi folosite — după caz, în funcție de tipurile de componenți minerali principali și secundari, de conținuturile acestora și de natura formei de zăcămînt pe care o au — metodele magnetometrică, electrometrică, radiometrică sau gravimetrică.

În mod normal, mineralizațiile de siderit nu pot fi puse în evidență prin magnetometrie deoarece acest mineral are o valoare foarte redusă a susceptibilității lui magnetice, practic comparabilă cu cea a rocilor care le găzduiesc. În zona Ruschița din Masivul Poiana Ruscă, mineralizațiile de fier, sub formă de lentile stratiforme concordante cu șisturile cristaline în care se găsesc încorporate, sînt constituite din siderit cu o cantitate redusă de magnetit, la partea superioară sideritul trecînd în limonit, iar la cea inferioară în ankerit. Lentilele au dimensiuni mici și prezintă o dispersare mare în suprafață. În sectorul Pîrîul Nisipului — Ruschița, așa cum a arătat *Bărbat* (1958), datorită faptului că mineralizația de siderit conține puternice impregnații de magnetit și pirită, aceasta produce anomalii magnetice intense depășind, ca variație totală, 10 000 γ. În fig. X.40 este reprodus exemplul a două astfel de lentile de siderit.

Un caz foarte interesant de reflectare în informațiile geofizice a unor mineralizații de fier și magnan îl reprezintă acumulările reziduale din zona Moneasa-Vașcău, Munții Apuseni. Acumulările se găsesc situate pe reliefurile carstice negative (doline, paleovăi) ale calcarelor și dolomitelor triasice umplute cu nisipuri, argile și tufuri vulcanice de vîrstă terțiară, peste care se găsește parțial o pătură de sol.

Mineralzația este constituită de un orizont inferior manganos (piroluzită, manganit fibros, hauerit etc.) și de unul superior — cu unul sau chiar două nivele — feruginos (limonit, hematit, argilă feruginoasă, oolite feruginoase etc.) și se prezintă sub formă de blocuri dispersate în masa argilelor, tufurilor și nisipurilor.

Cercetarea electrometrică (Bărbat, 1950), a conturat în bune condițiuni, prin minime ale rezistivității aparente ρ_a, forma și dimensiunile cuvetelor cu umplutură de depozite terțiare groase în care sînt șanse să existe acumulări de mineralizații. În fig. X.41 este reprodus un profil al variației ρ_a în paralel cu secțiunea geologică, din care se poate observa ușor corelația dintre informația electrometrică, relieful calcarelor și prezența mineralizațiilor de fier și de mangan. Informația magnetică, obținută ulterior (Bărbat, 1958), a localizat prin anomalii ΔZ dipolare cu intensitate totală de ordinul a 1 000 γ sectoarele în care este prezentă mineralizația.

Acumulările de oxizi de fier și, îndeosebi cele de magnetit, sînt întotdeauna prospectabile geofizic pe cale magnetică.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă cazul lentilelor de magnetit din zona Bărșoara — Mașca, Munții Apuseni, genetic legate de produsele magmatismului banatitic. Aceste produse, sub formă de corpuri intrusive granodioritice din care se desprind, datorită diferențierilor magmatice, dyke-uri și silluri de andezite și dacite, au transformat rocile de la contactul cristalin/sedimentar. Urmare acestor transformări au luat naștere corneene impregnate cu pirită, blendă, galenă, calcopirită și pirotină, precum și skarne cu magnetit și pirotină. De importanță economică, cel puțin deocamdată, sînt în primul rînd lentilele pirometasomatice de magnetit localizate

Fig. X.40. Imaginea anomaliei magnetice ΔZ în zona Pîrîului Nisipului — Ruschița (după T. Bărbat, 1958).

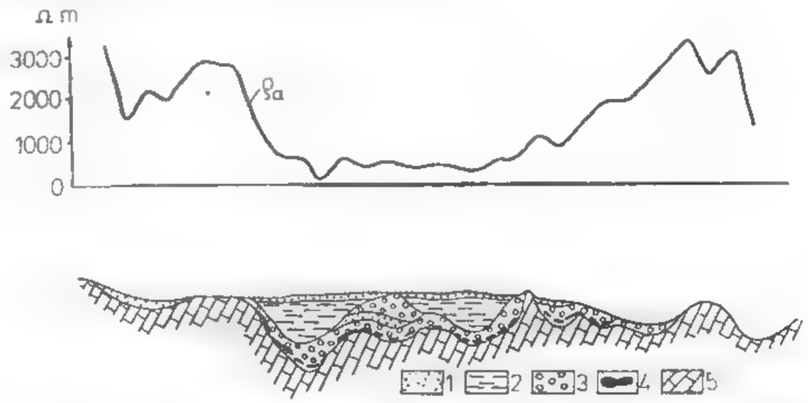


Fig. X.41. — Secțiune longitudinală prin zăcămîntul rezidual de fier și mangan de la Corbu, zona Moneasa-Vașcău, în paralel cu variația rezistivității aparente ρ_a:

1 — sol; *2* — argilă caolinoasă; *3* — minereu de ifer; *4* — minereu de mangan; *5* — calcar (după T. Bărbat, 1950).

în skarne. După cum a fost arătat (Romanescu, 1964), deoarece susceptibilitatea magnetică a banatitelor din această zonă are o valoare foarte scăzută și practic comparabilă cu cea a rocilor cristaline și a celor din cuvertura sedimentară, singura sursă de anomalii magnetice o reprezintă lentilele de magnetit în contrast de sute pînă la zeci de mii de unități de susceptibilitate. Acestea, în funcție de mărimea și adîncimea

Fig. X.42. Imaginea anomaliilor magnetice din zona centrală a zăcămîntului de fier Băișoara- Mașca (după D. Romanescu, 1964).

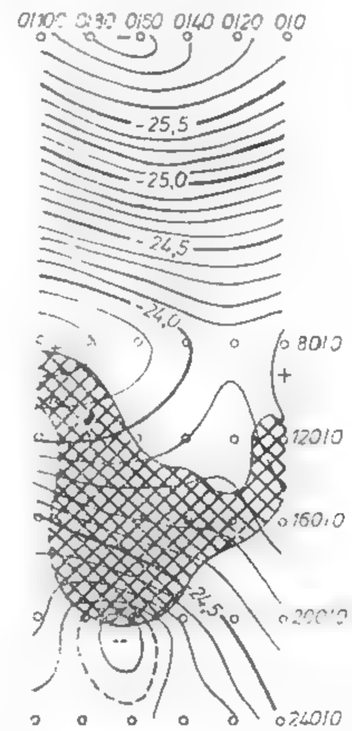
lor, au generat anomalii magnetice cu intensități de cîteva mii de γ care au servit ca bază pentru proiectarea explorării și apoi deschiderea exploatării miniere din această zonă. În fig. X.42 este reprodusă imaginea anomaliilor magnetice din partea centrală a acestui zăcămînt de fier.

Forma foarte neregulată a acestor lentile pune probleme grele explorării și exploatării lor. O încercare de îmbunătățire a eficienței acestor activități a fost făcută prin cercetările gravimetrice efectuate în subteran de către *Rusu* și *Sava* (197[illegible]). Acestea au constat din determinarea unei secțiuni gravimetrice verticale prin Puțul 2) Băișoara și cele cinci galerii transversale de la orizonturile 80, 120, 160, 200 și 240, la care se adaugă profilul de la suprafață. Informația gravimetrică în această zonă a fost avantajată de faptul că contrastul de densitate dintre lentilele de mineralizații și rocile netransformate prin procesele de metasomatism de contact este foarte mare, atingînd valoarea de 2,00 g/cm³. În fig. X.43 este reprodus rezultatul acestor cercetări,

din care reiese că mineralizația prezentă între orizonturile 80 și 200 are o extindere mai mare atît pe verticală față de cea cunoscută din lucrările miniere, cît și lateral pe direcția perpendiculară, în ambele sensuri, față de planul secțiunii.

Rezultate concludente a adus informația magnetică și pentru mineralizațiile de fier de la Palazul Mare, Dobrogea, de la Poiana Iazuri din Masivul Poiana Ruscă, pentru cele de magnetită titaniferă și vanadiferă de la Ciungani—Căzănești din Apusenii de sud și altele.

Cercetările geofizice efectuate în Delta Dunării și în zona acvatorială de pe platforma continentală din fața acesteia au scos în evidență capacitatea radiometriei de a pune în evidență acumulările de minerale grele din nisipurile aluvionare, interesante economic pentru conținutul lor în titan și zircon. În fig. X.44 este reprodusă imaginea anomaliei radiometrice din zona grindului Sărăturile, situat la nord de localitatea Sf. Gheorghe-Deltă, generată de o astfel de zonă de concentrare, care este dublată de o a doua zonă de maxim radiometric paralelă și situată la distanța de circa 1,5 km



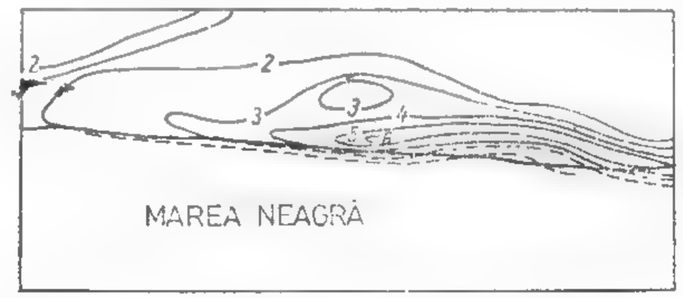


Fig. X.44. Imaginea anomaliei radiometrice produsă de acumularea de minerale grele din grindul Sărăturile (după E. Brătășanu et al., 1972).

Fig. X.43. — Secțiune gravimetrică verticală prin Puțul 2 Băișoara și extinderea probabilă a mineralizației de fier în planul secțiunii (după D. V. Rusu și C. S. Sava, 1977).

în Marea Neagră (Brătășanu et al., 1972). Cauza acestor anomalii este prezența în asociația de minerale grele a monazitului și zirconiului, care împreună produc circa 75% din intensitatea radiației γ globale, restul fiind cauzat de celelalte minerale (ilemnit, magnetit, granați și altele); mai mult decît atît, s-a putut demonstra că există o dependență practic liniară între concentrațiile în titan și zircon și intensitățile cîmpului radiației γ globale (Gohn et al., 1972), ceea ce asigură o bază de evaluare în primă aproximație a importanței economice a acumulărilor după intensitatea anomaliilor radiometrice.

2.3.2. MINERALIZAŢII DE METALE NEFEROASE

În această grupă sînt cuprinse mineralizaţiile de cupru, plumb, zinc, staniu şi aluminiu, pentru a nu cita decît metalele mai importante, care pot fi prospectate cu ajutorul metodelor geofizice. Poate mai mult decît pentru orice alte feluri de minera-

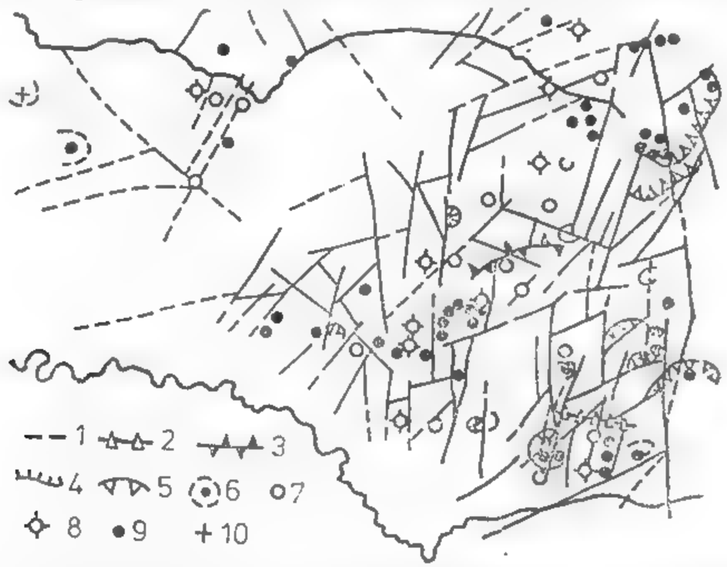


Fig. X.45. Modelul structurii geologice a Munţilor Gutîi construit pe baza unei înregistrări multispectrale Landsat:

1 — accidente tectonice verticale; *2* — aliniamente de centre de erupţie; *3* — aliniamente de curgeri divergente; *4* — fracturi de pînze de lave; *5* — limite de crater, caldere; *6* — cripto-vulcani probabili; *7* — structuri vulcanice; *8* — aparate vulcanice; *9* — centre de erupţie; *10* — centre de erupţie probabile (după H. Zegheru şi M. Albotă, 1979).

lizaţii, cele din grupa metalelor neferoase — şi, îndeosebi, cele de afiliaţie magmatică şi de tip hidrotermal — impun o prealabilă descifrare a structurii geologice pe cale geofizică, pentru a evalua şansele de existenţă a acestora. În acest sens, magnetometria şi gravimetria au adus contribuţii deosebit de importante în ţara noastră, în toate regiunile constituite din vulcanite neogene (Botezatu et al., 1974; Botezatu, 1976); de curînd, la acestea s-a adăugat şi teledetecţia. În fig. X.45 este reprodus, după *Zegheru* şi *Albotă* (1979), rezultatul unei interpretări geologice a informaţiilor de teledetecţie pentru zona vulcanitelor neogene din partea vestică a Munţilor Gutîi, din care reiese natura informaţiilor geologice obţinute pe această cale.

Prospectarea geofizică a mineralizaţiilor din grupa metalelor neferoase se realizează ,în majoritatea cazurilor, prin diferite procedee electrometrice. Aplicarea gravimetriei, magnetometriei, seismometriei sau radiometriei este limitată, fiind posibilă numai la acele mineralizaţii care, fie ocupă volume importante în subsol, fie — prin geneza lor — cuprind şi minerale care au proprietăţi magnetice sau radioactive, ori se găsesc în situaţii specifice particular de favorabile.

Prospecţiunile geoelectrice prin metoda potenţialului natural efectuate în bazinul Văii Vaser, între Novicior şi Novăţ, au pus în evidenţă o serie de anomalii de

minim a acestei mărimi, plasate pe formaţiunile cristalofiliene epimetamorfice dintre eruptivul nou şi formaţiunile sedimentare de vîrstă eocenă din vest, care au fost interpretate ca efecte ale mineralizaţiilor de sulfuri complexe (Mihail, 1976). Această interpretare a fost confirmată iniţial prin lucrări miniere de suprafaţă şi apoi prin lucrări subterane. Au fost astfel puse în evidenţă lentile de pirită şi calcopirită, cu galenă şi blendă, cu caracter masiv, avînd grosimi de pînă la 10 m şi cu zone de impregnaţie adiacente, aşa încît întreaga mineralizaţie, atinge grosimea de cca 40 m. Informaţia electrometrică a reuşit, în această zonă, să pună în evidenţă continuitatea mineralizaţiei de interes economic din Valea Bradului, către sud, pînă în Valea Novăţ şi să precizeze decroşările compartimentelor purtătoare de mineraţizaţie.

În fig. X.46 este reprodusă imaginea anomaliei din lungul Pîriului Bradului, afluent al Văii Novicilor, din care reiese că mineralizaţia de sulfuri complexe în acest caz produce efecte intense de potenţial natural, care depăşesc — 280 mV.

O situaţie destul de complicată o prezintă mineralizaţia de pirită cupriferă de la Altîn-Tepe, Dobrogea. Zăcămîntul de la Atlîn-Tepe face obiectul exploatării de multe decenii, iar primele prospecţiuni geofizice în vederea descoperirii de mineralizaţii în extinderea lui datează din anul 1926; practic însă, clarificarea perspectivelor în acest sens aparţine ultimului deceniu, cînd gradul de rezoluţie mai ridicat al aparaturii şi tehnicilor de lucru recente au permis aceasta.

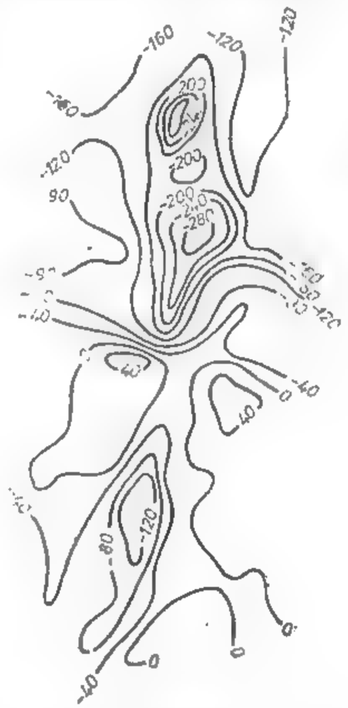


Fig. X.46. Anomalia potenţialului natural în zona Novicior (P. Bradului) din Carpaţii Orientali (detaliu după Cr. Mihail, 1976).

Mineralizaţia de metale neferoase exploatată la Altîn-Tepe se prezintă sub formă de corpuri lenticulare şi zone de impregnaţie, fiind găzduită de formaţiunile cristaline mezometamorfice reprezentînd fundamentul regiunii care este acoperit transgresiv de şisturi verzi. Corpurile de minereu sînt concordante cu şistozitatea formaţiunilor metamorfice şi prezintă grosimi de ordinul metrilor pînă la zeci de metri, fiind înconjurate la periferia lor de zone de impregnaţie. Originea mineralizaţiei este considerată mixtă, îmbogăţirea în cupru fiind a unei mineralizaţii sedimentogene afectată de o activitate hidrotermală ulterioară, datorită soluţiilor hidrotermale care au circulat pe contactul dintre formaţiunole mezometamorfice şi şisturile verzi.

Prospecţiunile electrometrice efectuate prin metoda polarizaţiei induse (Mihail şi Simionescu, 1972) au pus în evidenţă, pe direcţia nord vest-sud est, prin zăcămîntul cunoscut şi în extinderea lui spre nord vest şi spre sud est, un aliniament de minime ale rezistivităţii aparente ρ_a, aşa cum se poate vedea în fig. X.47. Zonele conductoare — cu şanse de existenţă a mineralizaţiei — se prezintă ca minime cu valori de 600—800 Ωm, faţă de un nivel de fond al rezistivităţilor produs de rocile sterile care are valori de 1 000—2 000 Ωm. Cu unele decalaje, minimele rezistivimetrice sînt dublate de anomalii ale polarizabilităţii aparente η_a, cu caracter de maxim, avînd intensităţi de 7—8% faţă de un fond de 1—2%. Imaginea informaţiei obţinută prin polarizaţia indusă este

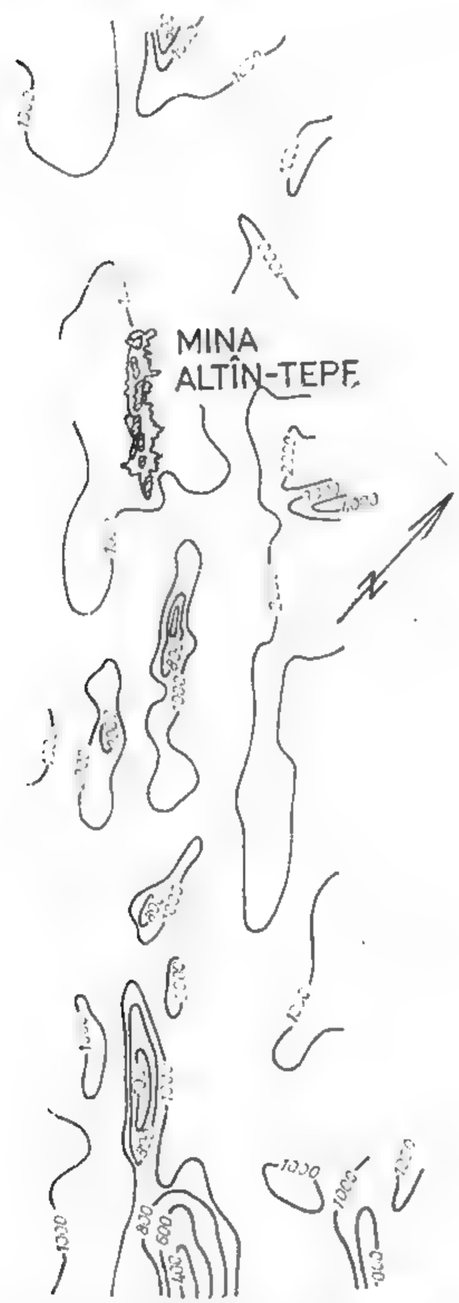


Fig. X.47. Imaginea anomaliilor rezistivității aparente ρ_a în zona Altîn-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

Fig. X.48. Imaginea anomaliilor polarizabilității aparente η_a în zona Altîn-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

reprodusă în fig. X.48. Corelația minim ρ_a — maxim η_a pledează pentru existența unor mineralizații disperse de sulfuri complexe care pot evolua spre lentile de minereu compact, ceea ce a fost confirmat de o serie de foraje executate în apex-ul principalelor anomalii electrometrice.

Un caz, de asemenea interesant, în care informația geofizică a adus o contribuție notabilă la orientarea lucrărilor de explorare, îl prezintă acela al mineralizației de

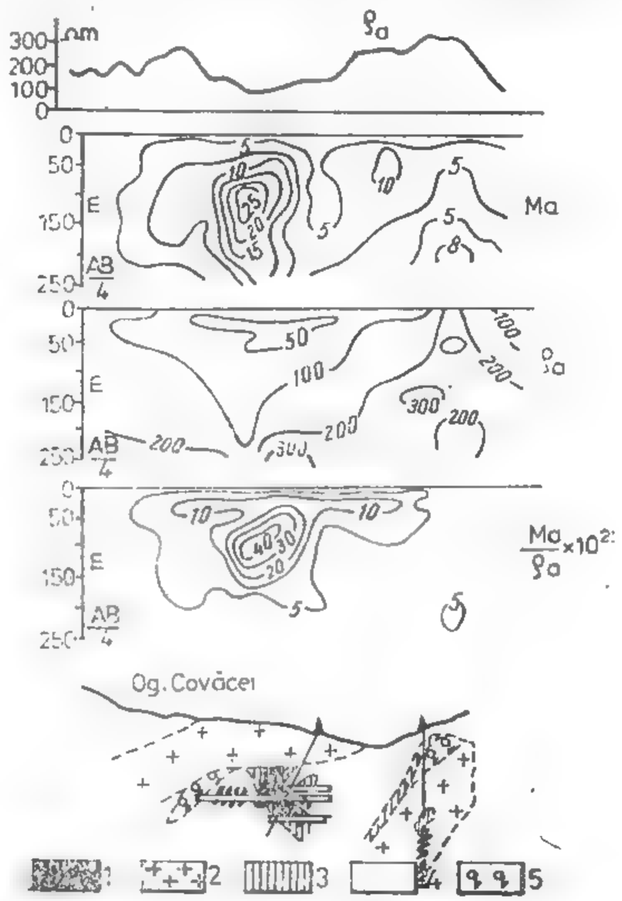


Fig. X.49. Informații geoelectrice și secțiunea geologică în sectorul Florimunda:

1—mineralizație; *2*—granodiorit; *3*—skarn; *4* — calcare recristalizate; *5* — roci cuarțifere (după V. Vâjdea și I. Stoica, 1968—preluat de la R. Botezatu et al., 1976).

pirită și calcopirită din zona Sasca—Moldova Nouă din Banat. Aceste mineralizații sînt legate genetic de corpurile de granodiorite banatitice puse în loc în lungul liniei de încălecare a cristalinului de Locva peste umplutura sedimentară, mezozoică, a sinclinalului Reșița-Moldova Veche. Acumulările cele mai importante de sulfuri cuprifere sînt cantonate în skarnele de la contactul dintre banatite și rocile carbonatice mezozoice și apar sub formă de impregnații sau mineralizații masive, îmbrăcînd caracterul unor corpuri cu aspect neregulat; mineralizații disperse — unele de interes economic — se găsesc și în masa banatitelor și a calcarelor cristaline din vecinătatea corpurilor de magmatite. Astfel de zone mineralizate sînt cunoscute acum la Florimunda, Suvarov, Vărad, Valea Mare, Ogașul Băieșilor, Cărbunari, Stînăpari și altele.

Pentru exemplificarea naturii și conținutului geologic al informației electrometrice în cazul acestui tip de mineralizații, în fig. X.49 sînt prezentate rezultatele obți-

nute în sectorul Florimunda. După cum se poate remarca, principalul corp de minereu situat în skarnele din culcușul corpului banatitic de la vest, constituit din mineralizație cu caracter masiv, produce la suprafață un minim al rezistivității aparente ρ_a de circa 70 Ωm, față de o valoare de fond de ordinul a 250 Ωm. Secțiunile geoelectrice — construite pe baza sondajelor electrice verticale de polarizație indusă în domeniul timp — localizează în adîncime cu o precizie remarcabilă, prin raportarea valorilor parametrilor la AB/4, corpul de minereu. Acesta se reflectă în secțiunea geoelectrică prin maxime ale factorului de încărcare M_a și al raportului M_a/ρ_a (echivalent factorului metalic din domeniul frecvență) și printr-un minim al rezistivității aparente ρ_a. Anomalii de același sens, dar cu intensități mult mai reduse, marchează intervalele de mineralizație diseminată interceptate în forajul care traversează cel de-al doilea corp de banatit, situat la est de primul, de un interes economic secundar (Botezatu et al., 1976).

În ultimele două decenii, nevoile de metale neferoase ale omenirii au crescut cu un ritm foarte alert, ceea ce a făcut ca interesul să se deplaseze către zăcămintele cu conținut scăzut în metal. Acestea reprezintă de fapt roci comune avînd în masa lor o cantitate de ordinul 0,2—0,5% de minerale de metale neferoase, disperse, dar care exploatabile în carieră — în condiții de tehnică minieră foarte avansată și cu excavarea unei mase miniere de ordinul a cîteva zeci de milioane de tone anual — permit extracția unor cantități mari de metal la parametri tehnico-economici avantajoși. Un astfel de zăcămînt în țara noastră îl reprezintă cel de la Roșia Poieni din Apusenii de sud. Zăcămîntul este reprezentat de un corp subvulcanic constituit din andezit porfiric de tip Barza, silicifiat, slab argilizat și mineralizat îndeosebi cu pirită, calcopirită și oxizi de fier. Prospectarea geofizică a acestui corp în vederea conturării lui și a delimitării zonelor de îmbogățire a mineralizației a demonstrat că în acest caz informația magnetică este mai eficientă decît cea electrometrică, datorită caracterului precumpănitor hidrotermal al mineralizației și asocierii calcopiritei cu magnetitul de aceeași generație (Botezatu, 1977).

Prospectarea geofizică a zăcămintelor de bauxită din țara noastră, avînd în vedere caracterul lor de acumulări reziduale în reliefurile negative ale unui fundament de calcare precretacice carstificate, pune acesteia probleme dificile și de natură diferită.

În Munții Pădurea Craiului (sectoarele Cornetu, Lunca Sprie, Zece Hotare etc.) acumulările au forma unor lentile mici și sînt acoperite fie de o pătură subțire de sol și argile bauxitifere, fie de o pătură mai groasă de calcare neocomiene care poate depăși 100 m grosime. Cînd cuvertura superficială este mai subțire, prospectarea acestora este posibilă pe baza informației magnetice, electrometrice și radiometrice, în unele cazuri chiar și a celei gravimetrice (Gavăt et al., 1973). Dacă însă cuvertura se îngroașă mult, atingînd grosimi de mulți metri sau chiar cîteva zeci de metri și este constituită din calcare neocomiene (care nu se diferențiază prin nici o proprietate fizică față de cele tithonice), atunci singura informație geofizică valabilă pentru detectarea acestora rămîne cea electrometrică prin metoda polarizației induse. Polarizabilitatea acumulărilor de bauxită este datorată efectului de membrană, ca urmare a unui conținut în argilă destul de ridicat, așa cum a fost arătat de *Tournier* și *Vâjdea* (1969). În fig. X.50 este reprodus după acești autori un exemplu din sectorul Cornetu.

În zona Ohaba Ponor din Munții Hațegului (sectoarele Murgoi, Fizești etc.) lentilele de bauxită silicioasă și de argilă bauxitiferă sînt situate în paleoreliefurile unor calcare urgoniene. Diferența dintre acestea și cele din Pădurea Craiului provine pe de o parte de la dimensiunile lor care sînt în general mult mai mari și, pe de altă parte, de la cuvertura de vîrstă apțian-cenomaniană reprezentată în general prin gresii și subordonat argile. Această situație geologică a impus ca cea mai eficientă metodă de

prospectare geofizică să fie în acest caz seismometria de refracție folosind unde elastice de înaltă frecvență. Studiul condițiilor seismogologice, privind caracteristicile dinamice, coeficienții de absorbție și viteza undelor elastice a arătat diferențieri ale undelor frontale care alunecă pe suprafața gresiilor brune cenomaniene, a bauxitei și a fundamentului de calcare urgoniene (Spânoche et al., 1972), ceea ce a permis separarea lor cu destul de mare ușurință. În fig. X.51 este reprodusă imaginea suprafeței calcarelor

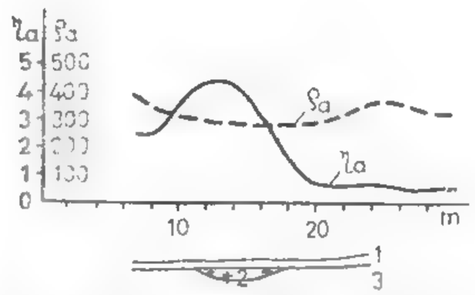


Fig. X.50. Informații geoelectrice deasupra unei lentile de bauxită din sectorul Cornetu:

1 — calcare necomiene; *2* — bauxită; *3* — calcare tithonice (după D. Tournier și V. Vâjdea, 1969).

Fig. X.51. Modelul structural a suprafeței calcarelor tithonice obținut prin seismometria de refracție, într-un sector din zona Ohaba-Ponor:

1 — izobată (în valoare absolută); *2* — locație de foraj; *3* — limită de zonă depresionară favorabilă acumulării bauxitei (după S. Spânoche, 1973 — preluat de la I. Vasiliu și A. Solomon, 1975).

urgoniene, care se diferențiază prin viteză de propagare a undelor elastice de 4 000—5 000 m/s față de 2 200—2 500 m/s a cuverturii de gresii și argile, din care reiese existența unor zone depresionare, probabil paleovăi, în care, ulterior, lucrările de explorare au pus în evidență prezența unor lentile de bauxită de 2—5 m grosime (Vasiliu și Solomon, 1975).

Cercetările geofizice în subteran sînt, de asemenea, de un deosebit interes pentru creșterea eficienței lucrărilor de explorare și exploatare a zăcămintelor de metale neferoase. Pentru exemplificare s-a ales cazul mineralizațiilor de la Băița-molibden din Munții Bihorului. Metoda folosită a fost electrometria pe baza polarizației induse. Mineralizațiile de sulfuri complexe legate de skarnificarea calcarelor ca urmare a punerii în loc a magmatitelor granodioritice, exploatate aproape integral în zonele de suprafață, nu se manifestă în prospecțiunea electrometrică așa cum se poate remarca pe curba factorului de încărcare M înscrisă în partea de sus a fig. X.52. În schimb, măsurătorile efectuate la orizonturile VI și X au pus în evidență anomalii intense și bine conturate ale acestui parametru, produse atît de corpurile de minereu cunoscute

(Sturzu, Antoniu, Baia Roşie, Maria), cît şi de altele eventuale situate sub orizontul X. Verificarea acestor anomalii prin foraje GP şi executarea galeriei de la orizontul XIII a condus la identificarea unor alte mineralizaţii, precum şi la modificarea întregii ima-

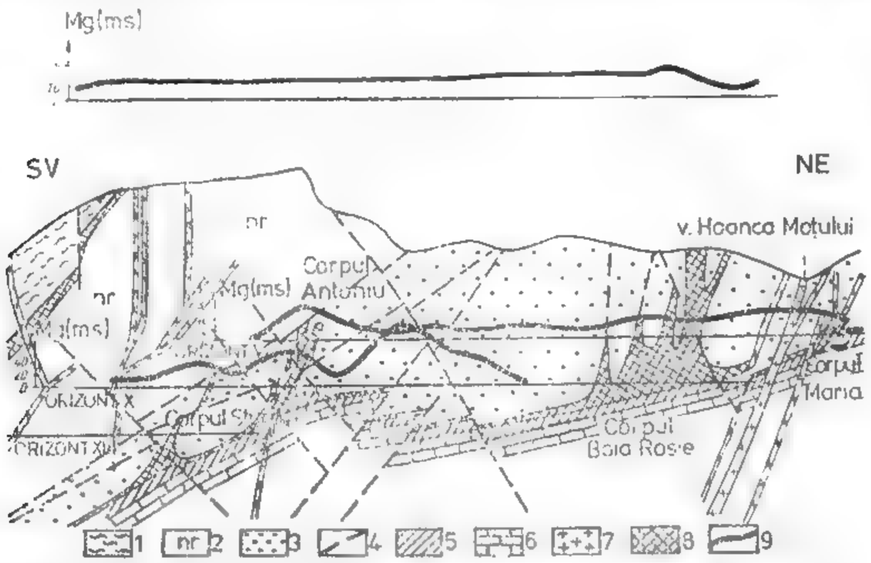


Fig. X.52. Informaţia electrometrică la suprafaţă şi în două orizonturi din Mina Băiţa-molibden (după V. Vâjdea şi A. Apostol, 1972 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976):

1 — Permian (argilite, filite, cuarţite, gresii parţial skarnificate şi cornificate); *2* — Norian (calcare recristalizate masive şi intercalaţii detritice parţial cornificate şi skarnificate); *3* — Carnian (dolomite cenuşii şi rozacee recristalizate); *4* — falie; *5* — Carnian (intercalaţii detritice partialcornificate şi skarnificate); *6* — Baremian (calcare albe, marne); *7* — dykuri diabaz-porfiritice; *8* — skarne mineralizate cu sulfuri polimetalice.

gini structurale, aşa cum este prezentată în secţiunea geologică din partea inferioară a aceleiaşi figuri (Botezatu et al., 1976).

2.3.3. MINERALIZAŢII AURO-ARGENTIFERE

Mineralizaţiile auro-argentifere din ţara noastră sînt de afiliaţie magmatică, legate de procesele de autometamorfism hidrotermal ale produselor vulcanismului neogen şi sînt localizate în aceleaşi tipuri de structuri ca şi cele de metale neferoase; mai mult decît atît, mineralizaţiile polimetalice neferoase prezintă adeseori conţinuturi reduse — de sub 1 g Au/t şi cîteva g Ag/t — care nu se recuperează direct ci în procesele metalurgice de rafinare pentru Cu, Zn sau Pb.

Un alt element care condiţionează aplicabilitatea metodelor geofizice este conţinutul redus al acestor elemente în mineralizaţiile exploatabile din punct de vedere economic, care sînt de cîteva g Au/t şi cîteva zeci de g Ag/t, fapt care nu este de natură să realizeze contraste de proprietăţi fizice mari în valoare în raport cu rocile care le găzduiesc.

Datorită acestor situaţii specifice, prospectarea geofizică a mineralizaţiilor auro-argentifere se face în mod asemănător ca pentru cele de metale neferoase, în care rolul precumpănitor îl au procedeele metodei electrometrice şi numai cu totul subordonat cele geomagnetică, gravimetrică sau radiometrică, acestea din urmă numai pentru stabilirea unor factori tectono-magmatici care controlează astfel de mineralizaţii.

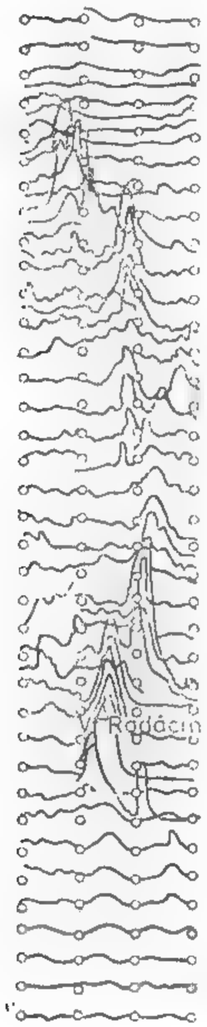
Din punctul de vedere al posibilităţilor de prospectare geofizică, mineralizaţiile din această grupă prezente în ţara noastră se împart în două categorii principale.

O primă categorie o reprezintă filoanele, volburile şi stockurile legate genetic de zonele de caolinizare a vulcanitelor neogene. În astfel de situaţii electrometria pe baza potenţialului natural, a rezistivităţii aparente sau a polarizaţiei induse — după caz — poate conduce la informaţii concludente. În fig. X.53 este prezentată harta anomaliei potenţialului natural produsă de un stock de pirită auriferă din zona Baia de Arieş în Apusenii de sud, din care reiese că mineralizaţia se reflectă într-o anomalie de minim bine conturată, de intensitate mică de numai −40 mV, care circumscrie secţiunea orizontală a stockului aşa cum este cunoscută în adîncime din lucrările miniere (Gavăt et al., 1973). Anomalia a fost controlată şi prin metoda rezistivităţii aparente în varianta sondajului electric vertical, pe secţiunile geoelectrice prezenţa stock-ului aurifer în adîncime reflectîndu-se prin existenţa unor zone conductoare. Rezultate asemănătoare s-au obţinut şi în alte zone din Munţii Apuseni şi Gutîii

Fig. X.53. Imaginea anomaliei potenţialului natural deasupra unui stock de pirită auriferă din Apusenii de sud (după Fl. Scurtu, 1961 — preluat de la I. Gavăt et al., 1973).

Cea de-a doua categorie este reprezentată de existenţa mineralizaţiilor auror argentifere legate genetic de zonele de silicifiere şi, îndeosebi, cele de tipul filoanelode cuarţ aurifer. În acest caz, datorită conductibilităţii electrice foarte scăzută în va, loare a cuarţului, prezenţa unor astfel de filoane poate fi foarte clar pusă în evidenţă îndeosebi prin metoda rezistivităţilor.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă rezultatele obţinute în zona Batarci din Munţii Oaşului (Mihail şi Nicolau, 1970). În fig. X.54 este reprodusă o porţiune din imaginea variaţiei rezistivităţii aparente obţinută prin profilare electrică, pe care se individualizează clar un ax de maxim rezistivimetric, atingînd valori de 1 000 Ωm faţă de un nivel de fond de numai 50—100 Ωm, corespunzător unui filon de cuarţ aurifer cu direcţia aproximativ nord-sud plasat în vecinătatea Vîrfului Rădăcini. Pentru precizarea zonelor anomale de rezistivitate din partea sudică a acestui sector şi a urmăririi evoluţiei acestora în adîncime, a fost executată o secţiune geoelectrică prin sondaje electrice verticale, reprodusă în fig. X.55. Pe această secţiune apare evidentă existenţa a două zone rezistive, cu orientare verticală, produse probabil de două astfel de filoane; în partea superioară a aceleiaşi figuri sînt reproduse şi anomaliile la suprafaţă a rezistivităţii aparente, potenţialului natural şi polarizabilităţii aparente care prezintă o remarcabilă corespondenţă între ele, reflectînd pe lîngă efectul celor două filoane de cuarţ aurifer şi pe acela al impregnaţiilor de pirită, îndeosebi cele din vecinătatea suprafeţei. Rezultatele geofizice obţinute în acest sector au servit la orientarea lucrărilor de explorare prin galeriile de coastă de la Rădăcini şi de la Bătărcel.



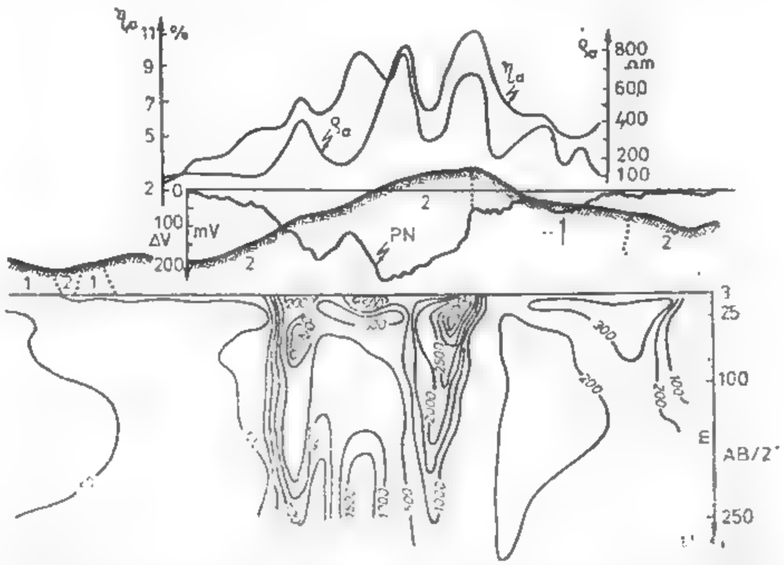


Fig. X.55. Secţiune geoelectrică de rezistivitate aparentă şi variaţiile la suprafaţă ale potenţialului natural PN, rezistivităţii aparente ρ_a şi a polarizabilităţii aparente η_a, în sectorul Vf. Rădăcinii, zona Batarci (după Cr. Mihail şi S. Nicolau, 1970).

←
Fig. X.54. Variaţia rezistivităţii aparente pe profile paralele în sectorul Vf. Rădăcinii, zona Batarci, de-a lungul unui filon de cuarţ aurifer (după Cr. Mihail şi S. Nicolau, 1970).

2.3.4. MINERALIZAŢII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ŞI DISPERSE

În această grupă intră în primul rînd mineralizaţiile de uraniu, thoriu, tantal, niobiu, beriliu, zircon şi litiu.

Prospectarea mineralizaţiilor de metale radioactive se realizează cu ajutorul metodei radiometrice în variantele aero dar, mai ales, la sol cu caracter de mare detaliu. Uraniul este strîns asociat cu roci granitice şi granodioritice în zăcăminte de tip hidrotermal, însă — datorită marii mobilităţi a lui — se mai concentrează şi pe suport organic în roci metamorfice care conţin serii de şisturi grafitoase, cărbunoase şi altele pentru care acest element chimic are afinitate.

Din cauza ecranării puternice a cîmpului de radiaţii γ, prospectarea mineralizaţiilor uranifere este limitată la acumulările care se găsesc la adîncimi mici faţă de suprafaţă. Datorită acestei situaţii pentru identificarea acestora se procedează de obicei în două etape şi anume:

— localizarea şi studierea aureolelor de dispersie, primară sau secundară, în cuvertura superficială sau zona de alterare de la suprafaţă;

Fig. X.56. Imaginea anomaliei radiometrice exprimată prin valorile maxime ale cîmpului de radiaţii γ în găuri de 6 m adîncime (după N. Cîrstoiu et al., 1973—preluat de la R. Botezatu et al., 1976).

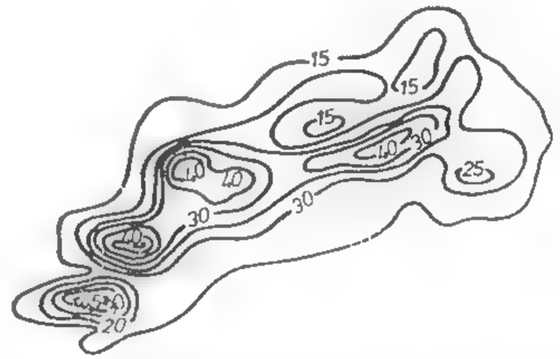


Fig. X.57. Imaginea anomaliei radiometrice la suprafaţă într-o zonă din masivul de roci alcaline de la Ditrău, produsă de un filon de sulfuri complexe cu conţinut de monazit (după E. Cohn, 1968 — preluat de la I. Gavăt et al., 1973).

— efectuarea de măsurători sau microcarotaje radiometrice în găuri forate cu adîncimi, după caz, de cîţiva metri pînă la cîteva zeci de metri, amplasate la un gabarit mic pe aria aureolei de dispersie.

În fig. X.56 este prezentat un exemplu de anomalie radiometrică produsă de o fractură mineralizată cu uraniu, situată în formaţiuni metamorfice, stabilită în găuri forate după o prealabilă informaţie privind existenţa unei aureole de dispersie în zona de oxidaţie şi de argilizare corespunzătoare de la suprafaţă (Botezatu et al., 1976).

Acumulările de metale rare şi disperse sînt, în general, asociate cu minerale de uraniu şi thoriu, ceea ce la conferă o radioactivitate ridicată şi face posibilă prospectarea lor prin radiometrie; prezenţa uneori a magnetitului, hematitului, piritei şi molibdenitului, le asigură şi proprietăţi magnetice mai intense, ceea ce le permite să se reflecte şi în anomalii magnetice.

În fig. X.57 este prezentat cazul anomaliei radiometrice determinată la suprafaţa solului şi produsă de un filon constituit din sulfuri complexe, monazit şi minerale de pămînturi rare, situat în zona Jolotca din masivul de roci alcaline de la Ditrău, Carpaţii Orientali (Gavăt et al., 1973).

2.3.5. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

În prezent există peste 60 de substanțe nemetalifere care interesează ca materie primă pentru diferite ramuri ale industriei sau ca materiale necesare în anumite procese tehnologice ale industriei, pentru care sînt puse la punct tehnologiile de exploatare și de înnobilare ale acestora. Cu excepția diamantelor industriale, în țara noastră se găsesc substanțe din această categorie sau există condițiile potențiale geologice — pentru cantități mai mari sau mai mici, cu calități mai bune sau mai puțin bune — pentru aproape întreaga gamă sortimentală cerută de industrie. Dintre acestea amintim ca mai importante: grafit, rocă cu sulf, gips, celestină, baritină, disten, wollastonit, pegmatit cu mică, talc, azbest, feldpsat, cuarț, perlit, calcar pentru siderurgie, cretă, dolomită, argile refractare, caolin, nisipuri silicioase, bentonită, diatomită și altele. La acestea se adaugă rocile utile pentru construcții, ca: balast și agregate pentru betoane, granite și alte roci magmatice pentru piatră spartă, cribluită, piatră fasonată etc., roci ornamentale pentru placări exterioare sau interioare (marmură, travertin, roci eruptive cu diferite colorații) și încă multe altele.

Problema prospectării geofizice a acumulărilor unor astfel de substanțe are desigur și limitări fizice dar, în primul rînd, de natură economică, deoarece ele trebuie să fie aduse în circuitul economic la un preț de revenire în general mic. Un astfel de preț de cost nu poate fi asigurat decît printr-o exploatare de preferință în carieră și o conturare a rezervelor pe căi cît mai puțin costisitoare; or, metodele geofizice sînt mai scumpe decît observațiile geologice directe și efectuarea de lucrări miniere ușoare (dezveliri, șanțuri, puțuri și foraje de mică adîncime, galerii de coastă scurte) prin care se poate asigura conturarea volumelor și stabilirea calității substanțelor respective.

Există totuși unele substanțe, de valoare mai mare, pentru care metodele geofizice devin necesare și este justificată aplicarea lor. În cele ce urmează vom prezenta trei exemple din care reiese natura problemelor din această categorie și soluțiile cercetării geofizice românești pentru rezolvarea lor.

În țara noastră, grafit exploatabil pentru concentrate de mare puritate (peste 90—95% carbon), grafit coloidal, suspensie de grafit etc., se găsește în Munții Căpățînii, la izvoarele Oltețului, găzduit de șisturile grafitoase din complexul de metamorfite constituit din granite gnaisice în care sînt prinse acestea împreună cu amfibolite, șisturi cloritoase și filite. Complexele grafitoase se prezintă sub formă de benzi paralele afectate de decroșări și lentilizări pe direcția de dezvoltare a lor. Dintre metodele geofizice, ca cea mai eficientă pentru conturarea lentilelor de rocă cu grafit s-a impus electrometria în varianta potențialului natural. În fig. X.58 este reprodusă informația obținută pe această cale într-un sector din această zonă, din care reiese reflectarea prin minime intense ale potențialului natural a lentilelor de rocă cu grafit al căror contur — stabilit după verificarea cu lucrări miniere — este marcat prin linie punctată (Gavăt et al., 1973).

Baritina este o altă substanță nemetaliferă de mare interes, îndeosebi ca îngreunător al noroaielor pentru forajele adînci. Baritină apare frecvent în ganga mineralizațiilor de sulfuri polimetalice și auro-argentifere, însă zăcămintele mai importante sînt cele în care acest mineral s-a format prin substituție în masa unor depozite de calcare sau dolomite. Un astfel de zăcămînt este cel de la Dealul Cortelu din zona Somova, în Dobrogea de nord, genetic legat de procesele de substituție metasomatică a calcarelor triasice sub influența unui corp de porfire cuarțifere pus în loc în cuprinsul acestora.

Această zonă a fost prospectată magnetic, electrometric și gravimetric, obținîndu-se informații provenite fie de la corpul de magmatite, fie de la mineralizațiile diseminate de sulfuri complexe, fie — în sfîrșit — de la însăși corpul de baritină. Avînd o densitate mare (3,65 g/cm³), mineralizația masivă de baritină realizează un contrast mare de densitate, de ordinul +1,00 g/cm³, față de calcarele și de porfirele între care

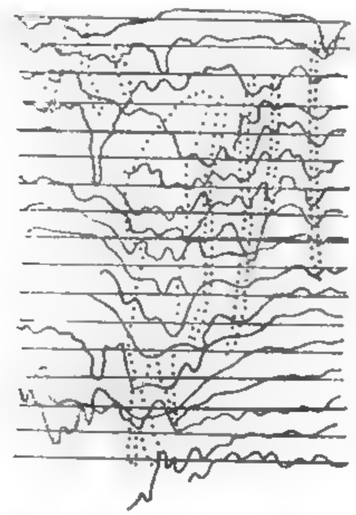


Fig. X.58. Imaginea variației potențialului natural într-o zonă mineralizată cu grafit de la izvoarele Oltețului (după I. Stoica și M. Stoica, 1965 — preluat de la I. Gavăt et al., 1973).

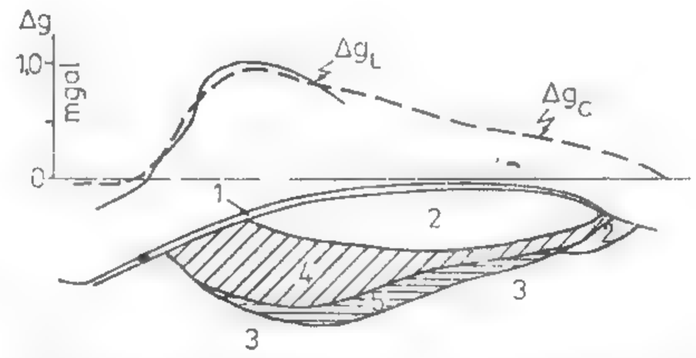


Fig. X. 59. Modelul geofizic de simulare de-a lungul unui profil E—V al corpului de baritină de la Dealul Cortelu, determinat pe baza datelor geologice și a informației gravimetrice:

Δg_L — anomalia gravimetrică locală; Δg_c — efectul gravimetric al modelului; 1 — loess; 2 — calcare triasice; 3 — porfire cuarțifere; 4 — zăcămîntul de baritină; 5 — corp de impregnație cu sulfuri polimetalice (după M. Visarion et al. 1974).

este încorporat. Acest fapt a asigurat informației gravimetrice condiții foarte bune de a se concretiza într-o anomalie de maxim care depășește 1 mgal. În fig. X.59 este reprodus un model al corpului de baritină construit pe baza informației gravimetrice și a celor geologice, controlul modelului obținut fiind realizat prin efectul gravitațional Δg_c pe care îl produce și care, așa cum lesne se poate constata, prezintă o bună corespondență cu anomalia gravimetrică locală Δg_L, pe porțiunea pe care aceasta a fost cartată (Visarion et al., 1974).

Mica sub formă de plăci, fulgi sau micronizată este, de asemenea, o substanță necesară industriei. Rezultate foarte interesante în cercetarea pegmatitelor micafere din regiunea Voineasa-Lotru în extinderea corpurilor cunoscute au fost obținute de către *Iordache* (1966) prin electrometrie în varianta potențialului natural. Corpurile de pegmatite micafere din această zonă se prezintă ca interstratificații în micașisturile și gnaisele seriei cristaline de Lotru și apar ca lentile, stock-uri și cuiburi, avînd forme și mărimi foarte variate. Muscovitul este în conținut de circa 12% și are dimensiuni de 20—150 mm în suprafață și grosimi pînă la 40 mm, procesele de alterare datorate circulației apelor generînd electropotențiale naturale care ating —150 mV, față de valori de fond ale rocilor sterile de +5 pînă la +50 mV.

În fig. X.60 este reprodus un profil al potențialului natural din sectorul Cataracte. Anomaliile de minim PN obținute au fost ulterior verificate prin șanțuri, puțuri și galerii care au identificat concentrații de mică. Autorul a determinat și o relație pe dependență între conținutul în mică, suprafața de cristalizare și valoarea potențialului natural generat, dependență care are un caracter liniar, ceea ce permite diagnosticarea valorii economice pe baza însăși a intensității anomaliilor PN obținute prin

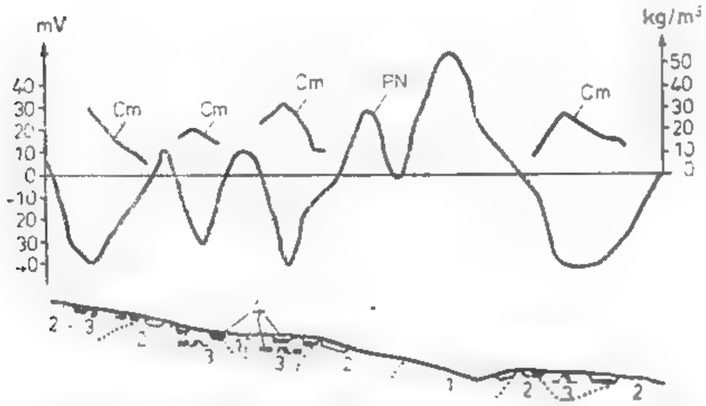


Fig. X.60. Variația potențialului electric natural PN și a conținutului în mică C_m de-a lungul unui profil în zona Voineasa-Lotru, sectorul Cataracte, în paralel cu secțiunea geologică și lucrările de explorare:

1 — micașisturi; 2 — pegmatite nemineralizate; 3 — pegmatite micafere; 4 — mineralizări de mică identificate prin lucrări miniere (după S. Gh. Iordache, 1966).

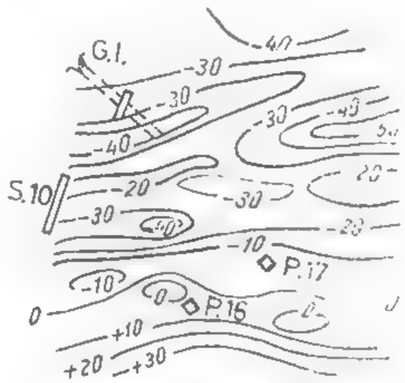


Fig. X.61. Imaginea anomaliilor potențialului electric natural PN în zona Voineasa-Lotru, sectorul Mănăileasa Mare 2 (după S. Gh. Iordache, 1966).

prospecțiunea geofizică. Valoarea medie statistică determinată în acest caz este de 1,03 ± 0,6 kg mică/m³ rocă/mV.

În fig.X.61 este reprodusă o porțiune din harta anomaliilor potențialului natural în sectorul Mănăileasa Mare 2, în care intensitatea anomaliilor nu depășește —40 mV. În acest sector îmbogățirile în mică, așa cum au arătat lucrările miniere, se prezintă ca lentile de dimensiuni reduse, însă cu o frecvență mai mare și aliniate pe direcții preferențiale corespunzătoare celor de șistozitate a rocilor cristalofiliene, fapt bine sugerat încă de la început de către informația geofizică.

2.3.6. ZĂCĂMINTE DE CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

Prospectarea geofizică a stratelor de cărbuni sau de alte roci combustibile, ca de exemplu șisturile grafitoase sau cărbuncase și, eventual, a unor tipuri de șisturi disodilice cu conținut mai ridicat în materie organică, pune probleme deosebit de grele.

O informație indirectă asupra prezenței unor astfel de substanțe în subsol este deocamdată imposibilă, cel puțin în țara noastră, deși ele se diferențiază față de rocile terigene care le conțin prin contraste mari de densitate, de rezistivitate electrică specifică și de impedanță acustică sau de coeficient de reflexie, producînd în situații favo-

rabile și electropotențiale naturale. Această limitare a aplicabilității metodelor geofizice provine din două caracteristici ale stratelor de astfel de substanțe și anume:

— grosime mică, de la unul la cîțiva metri;

— caracter concordant cu al stratelor terigene în care s-au format, suportînd împreună cu ele o evoluție tectonică care a condus la forme structurale comune.

Stratele de lignit inferior din Oltenia, orizontale sau slab înclinate, care interesează din punct de vedere economic, exploatabile de preferință în carieră, nu pot fi prospectate seismometric prin refracție; ele realizează coeficienți de reflexie și, mai ales, suprafețe de reflexie bune și foarte bune, așa cum au dovedit-o prospecțiunile pentru petrol din Depresiunea Precarpatică a Munteniei la descifrarea structurii Levantinului inferior și a Dacianului, însă informația seismică de reflexie nu poate proveni decît de la adîncimi care depășesc 350—400 m, astfel încît stratele de lignit de mică adîncime nu intră în incidența posibilităților acestei metode.

Stratele de lignit superior și, mai ales, cele de huilă energetică, huilă cocsificabilă, antracit și șisturi combustibile din Banat (Anina), se găsesc asociate unor structuri geologice puternic tectonizate, în condiții de combinare a unor elemente plicative și disjunctive care le conferă înclinări mari, falieri și decroșări, caracteristici care, de asemenea, devin prohibitive pentru metoda seismometrică.

Datorită acestor situații profund defavorabile, cercetarea geofizică pentru astfel de substanțe în România a fost foarte redusă și ca volum, și ca obiective, cu toate că metodele geofizice în alte părți ale lumii, dar și în alte condiții de structură geologică și de acumulări de cărbuni, au adus contribuții importante ca de exemplu: cea gravimetrică la Borken în R. F. Germania, cea electrometrică în Bazinul Moscovei, U.R.S.S., cea gravimetrică la Lickey Hills-Nuneaton în sudul Angliei, cea electrometrică în Bazinele Karaganda, Lvov și Donbass din U.R.S.S. și altele (Gavăt et al., 1973).

Dar dacă metodele geofizice nu pot aduce în condițiile din țara noastră informații direct de la stratele de cărbuni, unele din ele pot aduce contribuții la descifrarea structurii bazinelor cunoscute sau posibil carbonifere, în sensul stabilirii formei și adîncimii fundamentului acestora, a variațiilor de grosime a formațiunilor din cuprinsul cuverturilor sedimentare, a localizării accidentelor tectonice majore etc. În acest sens, indicații interesante a adus informația gravimetrică și cea seismometrică pentru Bazinul Petroșani; de asemenea, cea seismometrică pentru Bazinele Caransebeș și Hațeg (Vasilin și Solomon, 1975) și altele.

2.3.7. ZĂCĂMINTE DE SARE ȘI SĂRURI DE POTASIU ȘI MAGNEZIU

Prospectarea geofizică a acumulărilor de sare cu sau fără săruri de potasiu și magneziu este favorizată de faptul că aceasta se diferențiază puternic prin densitate, viteză de propagare a undelor elastice și rezistivitate electrică specifică față de rocile terigene în care sînt incorporate. Dintre toate metodele geofizice, cea gravimetrică a avut și are o eficiență remarcabilă la descoperirea și conturarea acumulărilor ascunse de sare, contribuind pînă în prezent la punerea în evidență a aproape 200 de masive de sare care nu erau cunoscute în țara noastră; pentru unele acumulări de sare, și informația seismometrică a contribuit la stabilirea îndeosebi a dezvoltării lor în adîncime. O sinteză a aportului metodelor geofizice pentru această substanță a fost făcută de *Botezatu* et al. (1970).

Din multele exemple care se pot prezenta a fost ales cazul masivului de sare de la Slătioarele din Județul Argeș. Prospectarea geofizică a acestui masiv a fost efectuată în anul 1948 printr-o lucrare gravimetrică de mare detaliu, iar existența sării a fost confirmată de 22 foraje, dintre care unul central care a străbătut întreg corpul de sare, iar restul cu adîncime de numai 500 m (Botezatu, 1964).

Fig. X.62. Anomalia gravimetrică locală produsă de masivul de sare de la Slătioarele, Argeș, cu indicarea locațiilor ultimelor șase foraje de explorare (după R. Botezatu et al., 1977).

În ultimii ani s-a reluat programul de explorare prin încă 6 foraje, pentru îmbunătățirea cunoașterii formei și extinderii în adîncime a corpului, precum și pentru stabilirea calității sării, în scopul construirii în cuprinsul lui a unor depozite subterane realizate prin dizolvare. Pe baza carotajului geofizic al ultimelor șase găuri de sondă s-a putut stabili variația în lungul acestora a densității și a conținutului în material insolubil (terigen), ultimul necesar precizării intervalelor optime și conducerii procesului de dizolvare. Pentru alegerea poziției unor astfel de depozite în interiorul corpului de sare, cu asigurarea unor pilieri de protecție corespunzători și a optimizării procesului de dizolvare, s-a efectuat o modelare a acestui masiv avînd la bază informația gravimetrică, cele provenite din carotajul geofizic al găurilor de sondă, precum și rezultatele forajelor avute la dispoziție (Botezatu et al., 1977).

Anomalia gravimetrică locală produsă de acest masiv de sare este reprodusă în fig. X.62. După cum se poate remarca, această anomalie are un caracter general de minim care are prezent un mic maxim central, ceea ce îi dă aspectul unui maxim

înconjurat de o aureolă de minime. Axa minimelor din jurul maximului central, marcată prin linia întreruptă, corespunde — cu excepția unei zone sudvestice — destul de bine cu conturul corpului de sare stabilit pe baza forajelor cu adîncime de 500 m, marcat prin linia continuă situată în interiorul axei la care ne-am referit mai sus.

Prin aproximații succesive s-a obținut final un model optimizat al acestui corp de sare care ține cont de variațiile densității și ale raportului sare/material insolubil,

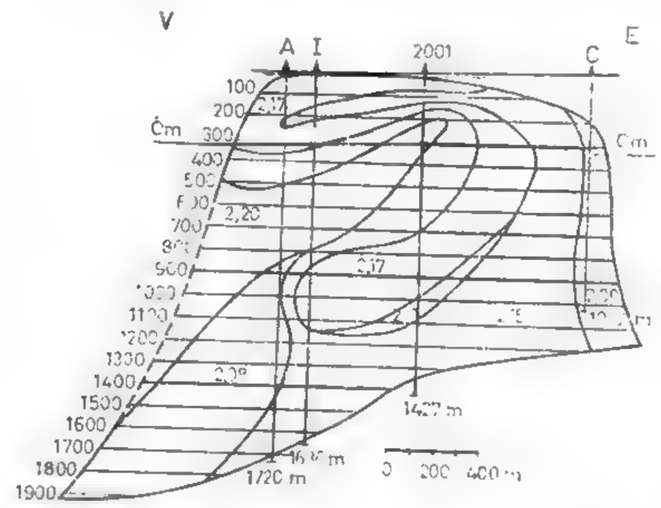


Fig. X.63. Secțiune verticală centrală pe direcția E—V prin modelul optimizat al masivului de sare de la Slătioarele, Argeș (după R. Botezatu et al. 1977).

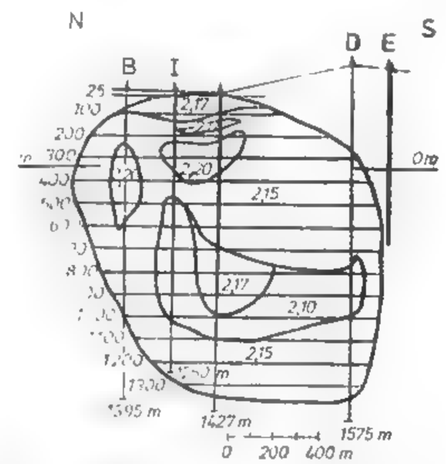


Fig. X.64. Secțiune verticală centrală pe direcția N—S prin modelul optimzat al masivului de sare de la Slătioarele, Argeș (după R. Botezatu et al., 1977).

ca și de intervalele de sare, indiferent de calitatea ei, traversate de cele 28 de foraje practicate pînă în prezent pentru conturarea lui. În figurile X.63 și 64 sînt reproduse două secțiuni prin modelul geofizic de simulare al acestui masiv de sare.

După cum se poate observa, corpul de sare de la Slătioarele, Argeș, are o formă și o structură internă foarte complicată, cu o tendință de concentrare a materialului terigen în proporție mai mare către partea lui centrală. Verificarea acestui model s-a făcut prin determinarea efectului gravimetric al lui, care a reieșit ca fiind comparabil cu anomalia stabilită prin măsurători și reprodusă în fig. 23. Modelul astfel obținut reprezintă o bază fundamentală pentru proiectarea depozitelor subterane ce se intenționează a fi realizate.

3. PROSPECȚIUNEA GEOCHIMICĂ

Prospecțiunea geochimică s-a impus ca una din metodele de cercetare geologică larg utilizate în urma succeselor deosebite obținute în evidențierea unor zăcăminte metalifere care nu aflorează și a costului redus al lucrărilor. Prospecțiunile geochimice permit sesizarea mineralizațiilor ascunse aflate la adîncimi ce pot ajunge la cîteva sute

de metri, obţinerea de informaţii privind principalii componenţi utili ai mineralizaţiilor şi aprecieri asupra extinderii zăcămintelor.

Principiul metodei de prospectare geochimică constă în identificarea zonelor cu conţinuturi superioare, anomale, unei valori medii, specifice mediului geologic respectiv, numită *fond geochimic*. Conţinuturile anomale sînt puse în legătură, de cele mai multe ori, cu existenţa unor mineralizaţii. Conturarea zonelor cu conţinuturi anomale evidenţiază anomaliile geochimice care, din punct de vedere genetic, pot fi:

— primare, formate în aceleaşi condiţii cu mineralizaţiile;

— secundare, determinate de schimbarea condiţiilor de stabilitate a mineralelor specifice zăcămintelor.

Extinderea aureolelor geochimice depăşeşte cu mult aria mineralizaţiilor şi prin aceasta sînt uşor de identificat. Modul în care se produce dispersia elementelor poate fi chimic, biologic sau fizic.

În funcţie de mediul de dispersie cercetat, prospecţiunile geochimice se pot clasifica în: litogeochimice, pedogeochimice, hidrogeochimice, atmogeochimice şi biogeochimice.

După scara la care se execută lucrările de prospectare, acestea se împart în: *regionale* (preliminare, informative sau strategice) — la scară mică şi *de detaliu* (tactice) — la scară mare.

Dozarea elementelor cercetate se face prin metode de analiză fizico-chimice (analize spectrografice, spectrometrie de absorbţie atomică, activare cu neutroni, colorimetrie etc.), metode de mare productivitate, sensibilitate şi precizie sporită.

Elementele analizate sînt de cele mai multe ori elementele urmă capabile să formeze zăcăminte specifice (indicatori direcţi), ca de exemplu Cu, Pb, Zn, Mo etc., elementele urmă ce însoţesc un anumit tip de mineralizaţii fără a forma concentraţii valorificabile din punct de vedere economic (indicatori indirecţi) ca de exemplu Cd, Ba, F, B sau elemente majore ce tind să se concentreze ca urmare a unor fenomene specifice formării mineralizaţiilor, aşa cum este cazul K, Na, Mg în adularizări, albitizări şi dolomitizări.

3.1. PROSPECŢIUNEA LITOGEOCHIIMICĂ

Prospecţiunea litogeochimică se poate executa la scară regională sau pe suprafeţe restrînse, la scară mare.

Prospecţiunea litogeochimică regională urmăreşte stabilirea fondului geochimic al unor formaţiuni specifice regiunilor luate în studiu şi identificarea zonelor anomale de maximă perspectivă.

Prospecţiunea litogeochimică de detaliu are drept scop identificarea mineralizaţiilor pentru care există unele indicii, precizarea tipului de mineralizaţie sau a poziţiei acestuia.

Prezenţa unor *zone cu alteraţii hidrotermale* este o indicaţie privind existenţa fenomenului hidrotermal şi deci şi a posibilităţii existenţei unor mineralizaţii. În legătură cu aceste zone se pune problema dirijării cercetării prin lucrări miniere şi foraje, cu maximă eficienţă, pentru interceptarea eventualelor mineralizaţii. Cercetarea litogeochimică sistematică a rocilor din aceste zone indică, pentru numeroase elemente, o tendinţă de concentrare în jurul căilor de circulaţie a soluţiilor hidrotermale. Poziţiile

reciproce ale anomaliilor diferitelor elemente permit precizarea poziţiei zăcămîntului ca urmare a dezvoltării lor diferenţiate (fig. X.65).

Abateri ale anomaliilor primare de la poziţiile ideale pot fi determinate de o serie de factori printre care: caracteristicile petrografice ale formaţiunilor (constituţia petrografică, porozitatea, permeabilitatea, structura şi textura) şi tectonice. Identificarea anomaliilor pentru asociaţii caracteristice de elemente poate furniza date asupra tipului de zăcămînt.

Prelevarea probelor în prospecţiunea litogeochimică se face în funcţie de scopul urmărit şi de caracteristicile terenului. În prospecţiunea litogeochimică regională rocile

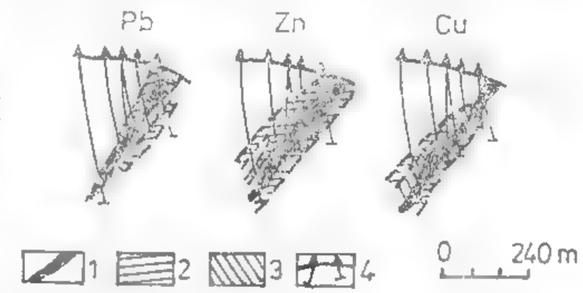


Fig. X.65. Aureole de dispersie primară în jurul corpurilor de minereu de la Sahalinsk (Grigorian, după Buracu, 1978): *1* — corp de minereu, *2—3* — aureole de dispersie primară; *4* — foraje probate.

sînt colectate de pe profile transversale pe structura geologică, distanţele între profile putînd merge pînă la 500 m. Distanţele între probe, pe acelaşi profil, variază între 50 şi 200 m, urmărindu-se eşantionarea fiecărui tip petrografic în parte. În prospecţiunea de detaliu profilele sînt mai dese, iar distanţele între probe pot ajunge pînă la 5 m. Lucrările miniere şi forajele se probează la intervale de 1—5 m în cazul indicaţiilor privind existenţa unor mineralizaţii şi la distanţe mai mari pentru zonele presupuse nesemnificative.

Greutatea probelor este în funcţie de omogenitatea petrografică, structura şi textura formaţiunilor. Pentru roci relativ omogene şi cu structuri fine, cantitatea de probă este mai mică (50—100 g) în timp ce pentru roci larg cristalizate şi neomogene probele sînt mai mari (100—250 g). Nu se recomandă colectarea de probe medii (în brazdă), care nu permit sesizarea sensului de variaţie a conţinuturilor. În cazul rocilor prelevate de la suprafaţă, acestea nu trebuie să fie afectate de fenomene de alterare superficială, deoarece conţinuturile pot suferi modificări.

Analizele se execută pe probe globale de roci, pe concentrate minerale sau pe probe monominerale în cazurile în care sînt necesare precizări privind tendinţele de concentrare ale elementelor urmă în anumite faze minerale. Pentru precizarea tipului de legătură a elementelor urmă (chimică sau fizică) se fac determinări prin dezagregarea totală a rocii sau pe extrase cu reactivi organici care nu afectează reţelele mineralelor, solubilizînd numai elementele reţinute prin legături fizice.

3.2. PROSPECŢIUNEA PEDOGEOCHIMICĂ

Prospecţiunea pedogeochimică este o metodă de investigaţie geochimică a zăcămintelor de minereuri metalifere cel mai frecvent utilizată, ca urmare a răspîndirii largi a solului, a uşurinţei de prelevare a probelor din sol, a costului relativ redus al analizelor şi al obţinerii unor rezultate foarte semnificative.

Principiul metodei constă în *identificarea aureolelor geochimice secundare* la anumite nivele din sol.

În prospecțiunea pedogeochimică regională se urmărește determinarea fondului geochimic al zonei luate în studiu, identificarea unor eventuale anomalii și, în unele zone cum sînt cele caracterizate prin soluri groase lipsite de aflorimente, delimitarea cartografică a unor formațiuni din subsol caracterizate prin contrast geochimic (amfibolite-cuarțite, peridotite-granite etc.).

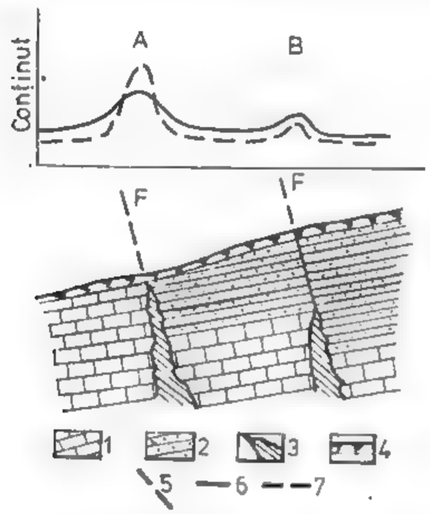


Fig. X.66. Anomalii pedogeochimice pe sol rezidual (*A*) și anomalii de „scurgere" (*B*), în cazul zăcămintelor de Pb și Zn

1 — calcare; *2* — argile grezoase; *3* — corp de minereu; *4* — sol; *5* — falie; *6* — curba variației conținuturilor de Zn; *7* — curbura variației conținuturilor de Pb

Prospecțiunea pedogeochimică de detaliu urmărește delimitarea unor anomalii geochimice în regiuni unde există indicații privind existența unor mineralizații și amplasarea unor lucrări de cercetare cu maximum de eficiență.

Solurile sînt formațiuni actuale sau recente care prezintă caracteristici structurale în funcție de condițiile pedogenetice și gradul de maturizare. În cele mai multe soluri pot fi identificate trei orizonturi:

— orizontul *A* constituie partea superioară a solului și se individualizează prin prezența în cantități variabile a substanțelor de natură organică alături de cele de natură minerală. Grosimea orizontului *A* este cuprinsă, în general, între 15 și 35 cm;

— orizontul *B* este constituit din componenți anorganici: minerale argiloase, oxizi și hidroxizi de fier, mangan, aluminiu, siliciu, carbonați și alții. Compoziția mineralogică a acestui orizont este determinată de compoziția rocii din subsol (roca mamă), de condițiile pedogenetice și de gradul de maturizare al solului. Grosimea acestui orizont este variabilă în limite largi;

— orizontul *C* face trecerea la roca proaspătă nealterată și este constituit din componenți specifici orizontului *B*, fragmente de rocă și uneori faze minerale specifice, de trecere (metastabile) de la cele ale rocii proaspete la cele ale orizontului *B*. Grosimea acestui orizont este de asemenea variabilă.

Dispersarea elementelor în soluri se poate face pe cale *fizică*, în cazul elementelor cuprinse în mineralele rezistente la alterarea supergenă (aur nativ, cromit, cinabru etc.) sau pe cale *chimică*, în cazul elementelor cuprinse în minerale ce se alterează ușor (sulfurile sau compuși similari în cele mai multe cazuri). Reținerea elementelor dispersate se poate face pe cale chimică, ca urmare a apariției unor compuși mai puțini solubili în apropierea suprafeței (carbonați, vanadați, molibdați etc.) sau pe cale fizică, prin adsorbția elementelor pe constituenții coloidali ai solului, cum sînt mineralele argiloase, oxizii și hidroxizii de fier și mangan, compușii organici și alții.

Concentrațiile elementelor urmă în soluri sînt diferite, în funcție de tipul de sol, de adîncime, de gradul de maturitate al solului, de caracteristicile geochimice ale elementelor analizate și de poziția mineralizațiilor care le-au generat față de sol.

Pozițiile anomaliilor pedogeochimice față de mineralizațiile care le-au generat se pot suprapune sau pot fi deplasate în funcție de caracteristicile morfologice, hidrogeologice, pedologice, litologice, de vegetație, de poziția corpului de minereu față de suprafața de eroziune și de proprietățile geochimice ale elementelor luate în studiu.

Prelevarea probelor în prospecțiunea pedogeochimică se face după profile orientate perpendicular pe direcția de dezvoltare a formațiunilor geologice sau a unor accidente tectonice posibil să controleze localizarea mineralizațiilor (falii, decroșări, axe de cute etc.), perpendicular pe direcția de apariție a unor corpuri de origine magmatică (dik-uri) sau transversal pe direcția dominantă de șistozitate a formațiunilor cristalofiliene (pe cît posibil perpendicular pe S_0) sau pe direcțiile de dezvoltare a zonelor ce prezintă alterații hidrotermale sau fenomene pirometasomatice.

Echidistanța dintre profile se alege în funcție de tipul de mineralizație presupus și de tectonica care a afectat zona. În cazul zăcămintelor stratiforme, slab sau neafectate de fenomene rupturale, distanțele dintre profile pot fi mai mari (50 m), pentru ca în cazul zăcămintelor cu morfologie foarte complicată, afectate de o tectonică ulterioară, echidistanța să fie mult micșorată (15—20 m). Distanțele dintre probe pe același profil sînt mult mai mici (10 m în general).

Adîncimea de prelevare a probelor este constantă și ea se alege în așa fel încît să corespundă tranziției de la orizontul *A* la orizontul *B* (20—25 cm). Pentru prelevarea probei se face o gaură în sol cu ajutorul unei tije metalice, pînă la adîncimea stabilită pentru extragerea probei, după care se introduce carotiera cu ajutorul căreia se scoate o primă probă. Pentru a avea un eșantion de sol cît mai puțin contaminat, fie cu material din părțile superioare ale găurii, fie de la proba prelevată anterior, primul material scos este îndepărtat, după care se ia proba în greutate de 50 pînă la 100 g. Proba se introduce în pungi de hîrtie cu pereți dubli, cel interior fiind confecționat din hîrtie pergament, sau în pungi de polietilenă. Pe pungi se notează sectorul, data prelevării probei, numărul profilului și al probei.

Analizarea probelor se execută în parte în laboratoarele de teren, pentru identificarea operativă a eventualelor zone anomale și în laboratoare centrale, în totalitate. Analizarea probelor pe teren se face prin metode ce necesită o aparatură simplă (colorimetrie), iar în laborator prin metode de mare sensibilitate și productivitate (spectrografie de emisie, spectrometrie de absorbție atomică). În prealabil, probele sînt mojarate și omogenizate, iar în funcție de metoda de analiză folosită și de scopul urmărit pot fi analizate direct (dozări globale în spectrografia de emisie) sau după o dezagregare chimică, cu dozarea conținutului total al unor elemente (în spectrometria de absorbție atomică) sau prin solubilizarea elementelor reținute prin legături fizice (absorbție) și dozarea lor.

Rezultatele obținute în urma analizelor sînt trecute pe harta zonei cercetate, în dreptul punctelor de prelevare a probelor. Trasarea anomaliilor se face după prelucrarea matematică a datelor analitice, prin care se evidențiază pragul geochimic. Alegerea lucrărilor de verificare a anomaliilor (descoperte, șanțuri, puțuri sau galerii) și amplasarea lor se face după interpretarea geochimică a hărții, ținînd seama de cît mai mulți factori care pot conduce la apariția anomaliei și la poziția ei.

3.3. PROSPECŢIUNEA HIDROGEOCHIMICĂ

Prospecţiunea hidrogeochimică este larg utilizată în cercetarea preliminară a regiunilor pentru care sînt premize privind existenţa zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei constă în *identificarea conţinuturilor anomale în ape ale unor elemente specifice zăcămintelor de minereuri.*

Apele subterane sau de suprafaţă ce vin în contact cu mineralele specifice zăcămintelor pot solubiliza o parte din elementele constitutive, generînd aureole de dispersie secundară. Elementele dispersate în ape se pot prezenta fie sub formă de ioni liberi ca urmare a apariţiei în condiţii de oxidare a unor săruri ce solubilizează şi disociază puternic (sulfaţi, halogenuri), fie sub formă de componenţi ai soluţiilor coloidale. Coloizii pot apare ca rezultat al unei fragmentări avansate a materialului (coloizi de origine mecanică) sau în urma unor reacţii chimice, aşa cum este cazul hidroxizilor de fier şi mangan, mineralelor argiloase, unor compuşi organici care pot adsorbi o parte din anionii sau cationii din apele subterane sau de suprafaţă. Combinaţii organice cu metale specifice zăcămintelor de minereuri sînt, de asemenea, prezente mai ales în apele de suprafaţă.

Solubilizarea elementelor din zăcăminte, extinderea şi intensitatea anomaliilor hidrogeochimice depind de caracteristicile chimice ale elementelor luate în studiu, de compoziţia mineralogică, de structura şi textura minereului supus lixiviţiei şi de o serie de factori de mediu, cum ar fi: compoziţia apelor, cantitatea de material coloidal organic sau anorganic prezent în apă, clima, unghiul de pantă, natura rocilor pe care circulă apa, debitul etc.

Prospecţiunea hidrogeochimică se execută în special pe ape de suprafaţă şi mult mai rar pe ape subterane.

Prospecţiunea hidrogeochimică pe ape subterane se realizează prin prelevarea probelor de ape din fîntîni, foraje şi lucrări miniere.

Prospecţiunea hidrogeochimică pe ape de suprafaţă este mult mai frecvent utilizată, ca urmare a uşurinţei prelevării probelor şi a interpretării mai facile a datelor obţinute.

Apariţia anomaliilor hidrogeochimice în apele de suprafaţă poate fi efectul atît al unei spălări directe a unor mineralizaţii cît şi al unui aport de ape din izvoare care provin din pînze freatice ce vin în contact cu mineralizaţiile.

Anomaliile hidrogeochimice în apele de suprafaţă sînt situate în aval de corpurile care le-au generat, iar extinderea lor este funcţie de specificul geochimic al elementelor luate în studiu, de forma sub care sînt dispersate elementele, de caracteristicile petrografice ale rocilor ce constituie talvegul etc. Trebuie menţionat că rocile cu conţinut ridicat de material organic, cum sînt de exemplu şisturile bituminoase şi rocile carbonatice, constituie bariere geochimice în aval de care conţinuturile scad sensibil.

Prelevarea probelor de apă în prospecţiunea hidrogeochimică pe ape de suprafaţă se execută din aval către amonte. Distanţele dintre probe sînt cuprinse între 15 şi 40 m. La prelevarea probelor sînt evitate zonele de băltire de lîngă maluri, zonele de confluenţă, marile cursuri de ape. Se recomandă luarea probelor în regim staţionar al debitului, evitîndu-se perioadele de viituri sau secetă prelungită. Probele se îmbuteliază în recipienţi confecţionaţi din sticlă sau material plastic, cu capacităţi de 0,25—1 l

Analizarea probelor se face în timpul cel mai scurt posibil de la prelevare, pe cît posibil în laboratoare de teren. Analizele se execută pentru cantitatea totală de element luat în studiu, de obicei după o acidulare puternică, sau numai pentru elementele

prezente în stare ionică. Mai rar se fac analizele pe reziduul rămas după evaporare. Analizele curente se fac prin metode colorimetrice, în laboratoare de teren, sau prin spectrometrie de absorbţie etomică în laboratoare centrale. Paralel cu dozarea elementelor se execută determinări de *p*H şi de reziduu după evaporare, determinări necesare pentru interpretarea complexă a datelor.

Rezultatele cele mai bune în determinarea poziţiei mineralizaţiilor ce determină anomaliile se obţin în cazul dozărilor de elemente în stare ionică, deşi conţinuturile sînt sensibil mai mici.

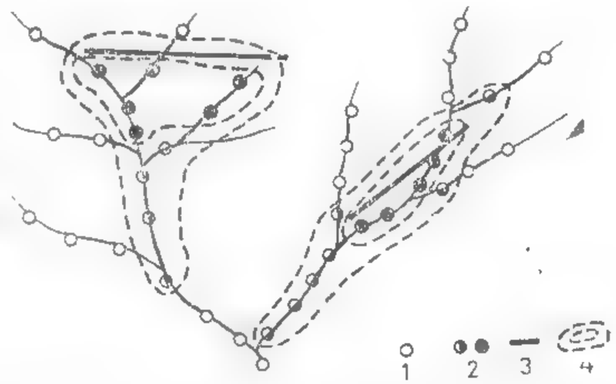


Fig. X.67. Aureole hidrogeochimice (Buracu, 1973):

1 — concentraţii de fond; *2* — concentraţii anomale; *3* — fractură mineralizată; *4* — aureolă hidrogeochimică.

Metoda este recomandată în regiunile cu soluri puţin evoluate, în zone cu soluri nereziduale sau foarte groase. Interpretarea datelor este complexă, fiind necesară cunoaşterea mai multor factori ce influenţează apariţia, extinderea şi intensitatea anomaliilor. Ponderea pe care o au aceşti factori în controlul caracteristicilor anomaliilor (intensitate, contrast, poziţie) este adesea dificil de apreciat din punct de vedere cantitativ.

3.4. PROSPECŢIUNEA ATMOGEOCHIMICĂ

Prospecţiunea atmogeochimică este o metodă de investigaţie introdusă relativ recent în cercetarea zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei se bazează pe determinarea conţinuturilor în atmosferă sau în gazele de la nivelul solului, a unor elemente uşor volatile cum sînt Hg, I, Br şi a unor gaze care apar în concentraţii mai ridicate în apropierea zăcămintelor de minereuri (Rn, CO_2, CH_4, H_2S) şi a compoziţiei unor suspensii solide mai mult sau mai puţin grosiere. Metoda a putut să se dezvolte mai ales ca urmare a metodelor de analiză pentru concentraţii extrem de mici.

Elementul cel mai frecvent luat în studiu la prospectarea zăcămintelor de minereuri este mercurul. Aureole anomale pentru mercur au putut fi observate atît în gazele reţinute la nivelul solului cît şi în atmosfera din jurul unor zăcăminte de cinabru, cu minereuri polimetalice sau de cupru diseminat. Dispersia mercurului este determinată de oxidarea cinabrului sau a altor sulfuri cu conţinuturi de mercur cum este de exemplu blenda.

În atmosferă conţinutul de mercur variază cu altitudinea, avînd tendinţa de scădere exponenţială cu înălţimea. În sol mercurul este probabil reţinut, în cea mai mare

parte, prin fenomene de suprafaţă (adsorbţie). Concentraţia mercurului se pare că depinde, în primul rînd, de cantitatea de material organic. Astfel, la nivelul orizontului *A* conţinuturile sînt totdeauna mai ridicate decît la nivelul orizontului *B*.

Anomaliile atmogeochimice pentru mercur sînt caracterizate printr-un contrast mare, fapt ce determină trasarea lor cu multă siguranţă. Concentraţiile de fond pentru multe regiuni cu formaţiuni eruptive este de ordinul 1 ng/m³ (1 ng = 10^{-9} g) sau mai mici, în timp ce pentru zonele anomale se depăşeşte 10 ng/m³.

Posibilitatea vaporilor de mercur de a dispersa uşor prin formaţiuni permite sesizarea unor zăcăminte de sulfuri în regiuni cu soluri nereziduale. Poziţia anomaliilor faţă de corpurile de minereu care le-au generat este adesea influenţată de tectonica regiunii, deasupra fracturilor ce afectează corpurile de minereu observîndu-se concentraţii mai mari.

Conţinuturile ridicate ale unor gaze inerte (He, Ne, Ar) şi a H_2S şi CH_4 sînt în unele cazuri indicatori pentru zăcăminte hidrotermale tinere, iar Rn pentru zăcăminte de uraniu.

Prelevarea probelor de gaze se execută pe profile orientate perpendicular pe structura regiunii, iar probele sînt luate din atmosferă, totdeauna de la aceeaşi distanţă de sol şi la presiune constantă sau prin extragerea gazelor din sol, de la aceeaşi adîncime, cu ajutorul unor pompe. Probele sînt închise ermetic în recipienţi de sticlă, iar analizele se recomandă a fi executate în cel mai scurt timp, pentru evitarea unor reacţii posibile cu pereţii vaselor.

Metoda este recomandată pentru prospectarea zăcămintelor de mercur, în special, şi a celor hidrotermale cu sulfuri, în general.

Cercetarea *suspensiilor* (aerosolilor) este o altă posibilitate de investigaţie caracteristică prospecţiunii atmogeochimice. Principiul se bazează pe posibilitatea existenţei în atmosferă a unor particule cu compoziţia formaţiunilor de la suprafaţă. Metoda poate fi aplicată la prospectarea tuturor tipurilor de minereuri, cu condiţia ca acestea să afloreze. În funcţie de dimensiunile suspensiilor, greutatea lor specifică şi condiţiile atmosferice, acestea se pot întîlni în concentraţii decelabile pînă la altitudini de ordinul a o sută de metri. Acest fapt permite posibilitatea colectării probelor din avion, prin survolarea unor regiuni întinse după profile egal distanţate (100—500 m). În cele mai multe cazuri, probele se colectează prin filtre de tipul unor ţesături confecţionate din mătase sau material plastic, particulele fiind reţinute ca urmare a încărcării electrostatice a materialului la frecarea cu aerul. Filtrele sînt arse, iar cenuşa rezultată analizată.

Metoda este recomandată în prospectarea preliminară a regiunilor deşertice sau semideşertice lipsite de sol sau cu soluri scheletice.

3.5. PROSPECŢIUNEA BIOGEOCHIMICĂ

Metoda biogeochimică de prospecţiune utilizează elemente de geobotanică. Geobotanica la rîndul ei se ocupă cu studiul vegetaţiei prin unitatea sa de bază *asociaţia de plante*. Asociaţia de plante reprezintă o grupare de plante cu o anumită compoziţie floristică, structură, ecologie, dezvoltată pe un substrat caracteristic, bogat sau nu în anumite minerale utile. Indicatoare sînt doar acele plante ce au proprietatea de a se dezvolta pe roci sau soluri cu caractere proprii, în prezenţa unor elemente cum ar fi: Ca, Na, Cu, Zn, Fe, Mg, Mn etc. Excedentul sau lipsa elementelor chimice în roci, sol şi ape determină reacţii diferite din partea plantelor, reflectate în compoziţia chimică din unele organe vegetative (rădăcini, tulpini, frunze, seminţe).

S-a constatat că pe zăcămintele de minereuri sau pe diverse roci, apele de infiltraţie conţin cantităţi uneori importante de metale, fapt ce se reflectă în aceeaşi măsură şi în creşterea acestui conţinut în plantele de pe substratele sus amintite.

Metodele de prospecţiune pentru zăcămintele de minereuri folosesc atît elemente geobotanice, cît şi elemente biogeochimice avînd la bază relaţii directe ce există între compoziţia chimică a rocilor, solurilor şi apelor de infiltraţie sau de suprafaţă, precum şi între compoziţia chimică, morfologia unor părţi vegetative ale unei specii caracteristice.

Metoda geobotanică include printre altele: — prospectarea zăcămintelor în funcţie de plantele indicatoare; — utilizarea ca indicii de prospecţiune schimbările survenite în morfologia externă a plantelor şi eventual ritmul sau rata creşterii, în funcţie de excesul într-un element sau mai multe elemente: — prospectarea zăcămintelor prin plante ca surse indicatoare indirecte.

Plante indicatoare. Plantele indicatoare se caracterizează prin apartenenţa exclusivă faţă de un substrat (roci, soluri), cu o anumită compoziţie chimică, neîntîlnindu-se în alte areale sau pe alte substraturi.

După compoziţia predominantă a unui element chimic, plantele indicatoare sînt grupate în:

— *plante oligotrofe* întîlnite pe soluri sărace în substanţe minerale. Apar în arealele mlăştinoase, turboase (*Sphagnum* — Muşchiul de turbă) sau pe substraturi acide (*Nardus*);

— *plante nitrofile* se întîlnesc pe substraturi bogate în azotaţi. Cea mai mare cantitate de săruri de azot provine din descompunerea substanţelor organice moarte, la care se adaugă şi azotul amoniacal adus de apele de precipitaţie. Indicatori de substanţe azotofile sînt *urzicile*. Abundenţa şi creşterea lor sînt direct influenţate de cantitatea de azot; cu cît aceasta este mai ridicată cu atît devin mai abundente şi cresc atingînd dimensiuni de pînă la 2 m înălţime (Olsen, 1925);

Tabelul X.6

Corelaţia dintre plante şi substratul mineral

Plante calcifile (substrat calcaros)	Plante calcifuge (substrat silicios)
Asplenium lepidum	*A. septentrionale*
Salix retusa	*Salix herbacea*
Gentiana clusii	*G. kochiana*

— *plante calcifile* (tabelul X.6) cresc numai pe roci calcaroase şi pe soluri bogate în calciu(peste 3%);

— *plante calcifuge* indică substraturi silicioase sau de altă natură dar nu calcaroase;

— *plante zincofile* acumulează în organele vegetative cantităţi apreciabile din acest element. În frunzele de *Thlaspi calaminarium*, oxidul de zinc atinge concentraţii maxime de pînă la 13,12%. O altă plantă zincofilă este *Viola calaminaria* (Toporaşul).

Alte plante ca *Minuartia verna* și *Armeria elongata* manifestă o evidentă preferință față de solurile bogate în săruri de zinc, pe care cresc din abundență, în timp ce din arealele apropiate lipsesc;

— *plante magneziofile* se dezvoltă foarte bine pe substraturi bazice, în special pe serpentinite și bazalte, ca și pe formațiuni dolomitice. Caracteristice pentru substraturi serpentinitice sînt în special specii de ferigi cum ar fi: *Asplenium adulterinum*, *A. cuneifolium* subsp. *serpentini*. Dintre plantele superioare antofite (plante cu flori) caracteristice sînt: *Potentilla* sp., *Myosotis* sp., *Serpervirum hirtum* subsp. *adenophorum*, *Sedum serpentini*, *Euphorbia serpentini* și *Armeria maritima* var. *serpentini*.

Pe substraturi dolomitice bogate în magneziu și subordonat în fier, vegetează și sînt indicatoare: *Linum dolomiticum* (Inul dolomitic), *Seseli leucospermum* (Buruiana vîntului), *Kernera alpina* (familia Cruciferе), *Armeria junceea* (familia Plumbaginacee) și *Saxifraga cebennensis* (familia Saxifragacee);

— *plantele cuprofile* cresc pe soluri bogate în săruri de cupru, atingînd în unele plante concentrații de pînă la 10%. O cuprofilă strictă este și așa-numita *floare de cupru* sau *Haumaniastrum robertii* (familia Labiate), utilizată pe scară largă în prospectarea minereurilor de cupru. O altă plantă cuprofilă este *Becium homblei*, folosită, pentru spectrul coloristic caracteristic, în marcarea zăcămintelor de cupru prin aerofotograme obținute din helicopter;

— *plantele seleniofile* indică prezența substratului sau a solurilor bogate în seleniu. Indicatori pentru roci bogate în seleniu sînt specii de *Astragalus*, în special *A. pectinatus*;

— *plantele halofile* se dezvoltă pe soluri sărate sau pe substraturi evaporitice de origine marină sau continentală. Din categoria euhalofitelor, rezistente la concentrații mari în săruri minerale, fac parte genuri și specii din familia Chenopodiacee, reprezentate prin: *Salicornia herbacea*, *Suaeda maritima* și *Salsola ruthenica*;

— *plante ferifile* acumulează fierul pe substraturi acide de tipul gresiilor silicioase și pe argile, un bun indicator fiind *Vaccinium myrtillus*.

Cele mai vizibile indicii de prezența unor elemente chimice la plantele indicatoare sînt marcate prin schimbări în morfologia frunzelor, pierderea proprietății de a înflori la timp, reducerea totală sau parțială a unor organe, uscarea sau căderea prematură a frunzelor, schimbarea culorii etc.

Principalele etape în prospecțiunea biogeochimică. *Observații preliminare.* Prospecțiunea biogeochimică impune în primul rînd cunoașterea structurii geologice, a particularităților geobotanice și a compoziției cenușilor plantelor din arealul ce urmează a fi studiat. Pe lîngă geologia regiunii, corpurile de minereu sînt traversate uneori și de accidente tectonice, zone în care compoziția plantelor poate să fie schimbată vizibil față de restul corpului de minereu.

În afara acestor observații, importante sînt și condițiile hidrogeologice ale regiunii ce influențează direct hrana plantelor prin sărurile minerale, *p*H-ul, grosimea și structura solului, geneza acestuia — funcție directă a substratului — precum și identificarea asociațiilor de plante predominante în regiunea de studiu.

Colectarea și selectarea probelor biogeochimice. Metoda biogeochimică în prospectarea zăcămintelor de minereuri are la bază o rețea de profile cu prelevare de probe din frunze, tulpini sau rădăcini dintr-o anumită specie sau mai multe specii (cu vîrste apropiate), a căror cenușă indică conținutul elementelor ce formează minereul. Rezultatele se trec pe hartă sub formă de linii cu conținuturi egale de metale (izoconcentrate). Sectoarele cu conținut anormal în metale se verifică prin lucrări speciale de explorare (S. M. Tkalici, 1961).

Indiferent de metoda folosită, geobotanică sau biogeochimică, rezultatele sînt apropiate și este de dorit să fie utilizate împreună.

Teoretic se consideră că probele geochimice pot fi colectate din orice tipuri de plante. Utile sînt plantele ierboase, arbuștii și chiar arborii.

Pentru obținerea unor rezultate de comparație, probele se iau din aceleași specii sau în orice caz din specii apropiate, ce provin din aceeași familie sau din familii înrudite (K. Rankama, 1954).

S-a constatat că cantitățile de cenușă în plante și conținutul de metale în cenușă nu sînt proporționale.

Specia de plante aleasă pentru probare trebuie să aibă un larg areal de răspîndire în cadrul regiunii studiate. Ca probă se poate alege orice organ al plantei (rădăcini, tulpini, ramuri sau frunze). În funcție de structura anatomică și caracteristicile fiziologice, diferitele părți vegetative ale plantelor prezintă în cenușă cantități inegale de metale (tabelul X.7).

Tabelul X.7

Conținutul de metale în cîteva părți vegetative de *Betula* și *Populus*

Tipul de plante	Părți probate	Cenușa, %	Conținuturi de metal în cenușă, %		
			Fe	Mn	Ti
Mesteacăn (*Betula*)	frunze	2,9	0,10	0,10	0,02
	lemn	0,3	0,20	0,0	0,06
Plop (*Populus*)	frunze	2,55	0,5	2,1	0,03
	scoarță	1,28	0,0	2,00	0,0
	rădăcini	1,09	0,10	1,00	0,05

Pentru a se obține date comparative ale chimismului cenușii este necesar ca probele să provină din aceleași organe ale plantei sau ale plantelor. După S. Tissen (1964) elementele chimice se concentrează mai ales în anumite organe ale plantelor. De exemplu: Al — în rădăcini, Mn și Fe — în frunze, Mo — în rădăcini, Ba — în tulpini etc. S-a observat că la *Viola calaminaria* (Viorea) Zn se concentrează în frunze, în timp ce același element se întîlnește în rădăcina de *Thlaspi arvense* (Punguliță).

Cele mai sugestive probe cu chimism ridicat sînt frunzele și scoarța, deoarece sînt organe în care se concentrează hrana cu elemente minerale. În schimb, elementele din rădăcină nu sînt concludente și nici probele din acest organ vegetativ.

S-a observat că conținutul metalelor în cenușa plantelor depinde de adîncimea corpurilor de minereu. Cu cît grosimea solului este mai mică, cu atît concentrația în metal din plante este mai mare, funcție directă a adîncimii de penetrare a rădăcinilor prin sol pînă la corpul de minereu (se cunosc cazuri de penetrare a rădăcinilor de la 10 m pînă la peste 25 de m).

Alegerea plantelor de probare trebuie să se facă în funcție de posibilitatea rădăcinilor acestora de a pătrunde în adîncime, în sol. Rezultate concludente se obțin numai atunci cînd colectarea probelor se face pe timp uscat sau în timpul ploilor mici, de scurtă durată.

După conținutul în cenușă, anomaliile biogeochimice utilizează microelemente din aureola de dispersie a zăcămîntului, ce urmează a fi identificate.

Dacă se analizează cenușa plantelor de pe zăcămintele de nichel, cobalt, și crom, se poate determina în ea conținutul în Ni, Co și Cr, sau pe zăcămintele polimetalice conținutul în Cu, Zn și Pb, în timp ce de pe cele de uraniu conținutul în U.

La zăcămintele de sulfuri (pirită, calcoprită etc.) aureola de dispersie este bogată în Fe, iar conţinutul în Fe şi Cu din plante creşte. De aceea, conţinutul ridicat în Fe din cenuşa plantelor este un indiciu al prezenţei în apropiere a unui zăcămînt (fig. X.68).

Rolul de indicator pentru Na, Fe, Ti s-a constatat şi în cenuşa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat al unui zăcămînt de pegmatite cu metale rare (fig. X.69).

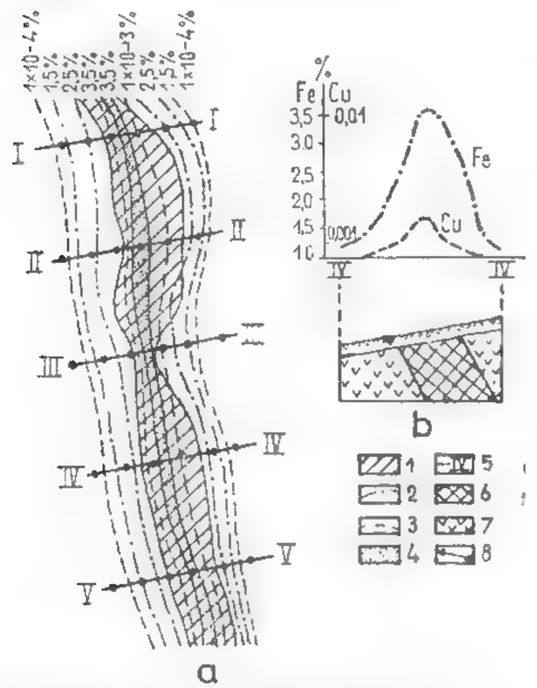


Fig. X.68. Anomalie biogeochimică la un zăcămînt de pirită cupriferă din Ural (după A. Veselov):

a — zăcămîntul în plan; *b* — secţiune după linia *IV—IV*; *1* — conturul zăcămîntului; *2* — izolinia conţinutului în Fe din cenuşa plantelor; *3* — izolinia conţinutului de Cu din cenuşa plantelor; *4* — maxima anomaliei biogeochimice; *5* — profilul (aliniamentul) de prospectare; *6* — corpul de minereu; *7* — roci înconjurătoare; *8* — probe din reţeaua de prospectare

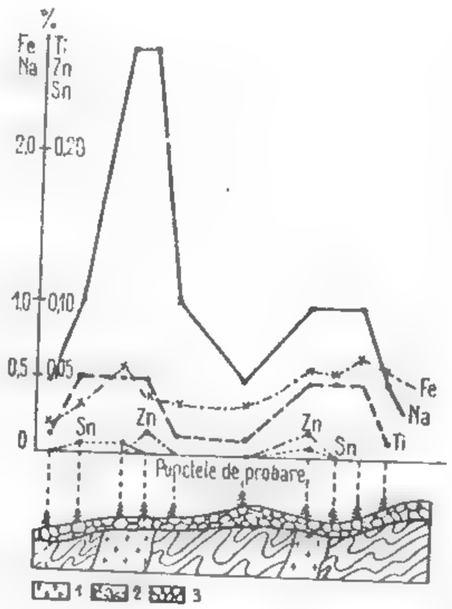


Fig. X.69. Diagramele conţinutului de Na, Fe, Ti, Sn şi Zn în cenuşa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat de pegmatite cu conţinut în metale rare:

1 — pegmatite; *2* — şisturi cristaline; *3* — formaţiuni deluviale.

Pentru determinarea intensităţii anomaliilor biogeochimice se impune probarea şi a unor exemplare (din aceeaşi specie) ce cresc în afara zăcămîntului, pentru a pune în evidenţă fondul biogeochimic natural din areal.

Colectarea probelor trebuie să se facă de pe organe ale plantelor ce cresc lîngă punctele reţelei ce urmează a fi prospectată. Astfel, pentru probe, plantele ierbacee se colectează integral, dar fără rădăcini. Dacă au dimensiuni prea mari se colectează numai probe din vîrf sau frunze.

Frunzele se culeg din orice regiune a plantei, dar nu de la o înălţime mai mică de 30 cm faţă de sol.

Pentru prospectarea minereurilor polimetalice, se colectează probe biogeochimice din ramurile de mesteacăn *(Betula)* cu grosimi de 3—6 mm şi avînd lungimea de 10—20 cm (I. E. Wartington).

Greutatea unei probe trebuie să fie de 40 —50 g (în special în cazul frunzelor).

Fişa probelor biogeochimice are următorul conţinut: 1. Descrierea zăcămîntului sau a regiunii...; 2. Data...; 3. Aliniamentul de prospectare nr ... punctul nr. ...; 4. Caracterul probei de material vegetal colectat.

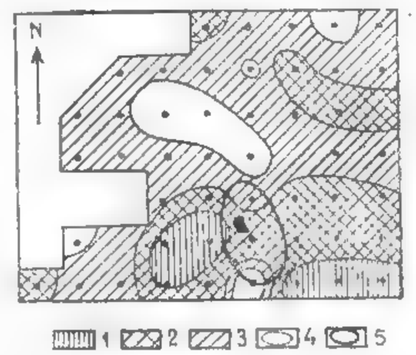


Fig. X.70. Reţea pătrată de prospecţiune; analize colorimetrice ale cenuşii de *Listris pycnostichia*, în 10^{-3} %:

— 200 şi mai mult; *2* — 141 — 199; *3* — 100 — 140; *4* — 0 — 99; *5* — limitele zonelor mineralizate.

Registrul probelor cuprinde: 1. Probarea zăcămîntului... executată de la data de... pînă la data de...; 2. Denumirea speciei de plantă aleasă; 3. Ce părţi din plantă sau colectat...; 4. Numele şi prenumele persoanei care a colectat proba; 5. Analiza cenuşei plantelor.

Prelevarea probelor de material vegetal se execută pe aliniamente separate de prospectare, pe reţea dreptunghiulară sau reţea pătrată (fig. X.70). Lungimea aliniamentelor de traversare trebuie să aibă 100 m, nu numai în zona minereului, ci şi în rocile înconjurătoare.

Reţeau dreptunghiulară se utilizează la prospectarea zăcămintelor de formă tabulară, iar reţeaua pătrată la prospectarea zăcămintelor cu contururi izometrice. Desimea probelor depinde de complexitatea regiunii prospectate, de varietatea rocilor, de forma şi de dimensiunile presupuse ale corpurilor de minereu (tabelul X.8) şi de plantele alese ca indicatoare.

Desimea reţelei de prospectare prin metoda biogeochimică variază de la 15 × 15 m la 200 × 200 m şi de la 50 × 100 m pînă la 200 × 40 m.

După delimitarea şi fixarea reţelei de prospecţiune, se întocmeşte planul la scara 1: 1 000 sau 1: 5 000, pe care se trec aliniamentele (profilele) de prospecţiune şi punctele (probele) fixate pe reţea.

Prelucrarea probelor. Prima operaţie de prelucrare este purificarea probelor de praf care, prin impurităţi, poate denatura rezultatul analizelor chimice ale cenuşii obţinute din plante.

După această operaţie probele se usucă şi se macerează sub forma unui detritus vegetal, pînă cînd ajunge un fel de pulbere măruntă.

Arderea probelor se efectuează în cuptoare speciale cu burduf, la temperaturi de 450—500°C, pînă la obţinerea cenuşii uniforme. Pentru analize diverse este necesară o cantitate de 50—100 mg cenuşă şi numai 5—10 mg pentru analize spectrale.

Analizele calitative ale cenuşii se execută prin metoda microchimică sau prin picurare, precum şi prin metode spectrale semicalitative, colorimetrice şi polarografice.

Lucrări de birou și întocmirea raportului. În faza de birou se execută planul schematic cu punctele de colectare a probelor biogeochimice, după care se întocmesc hărțile și se completează prin grafice.

Tabelul X.8

Rețeaua de prospecțiune în funcție de dimensiunile corpului de minereu investigat

Forma probabilă a corpurilor de minereu	Dimensiunile probabile în plan a corpurilor de minereu	Rețeaua de prospecțiune, [m]
Mai mult sau mai puțin izometrică	Relativ mari pînă la cîteva hectare	Pătrată: 200 × 200
Izometrică dar cu contur complex	Relativ mari	Pătrată: 100 × 100
Izometrică	Mici	Pătrată: 50 × 50
Alungită	Pe direcție sute de metri, lățimea aflorimentului peste 20 m	Dreptunghiulară: 200 × 50
Alungită	Pe direcție sute de metri, lățimea aflorimentului între 10—20 m	Dreptunghiulară: 100 × 25
Alungită	Pe direcție pînă la 100 m, lățimea aflorimentului sub 10 m	Dreptunghiulară: 100 × 10 sau 50 × 10

Planul schematic se desenează pe calc la scara 1: 1000 sau 1: 5000. Cunoscînd contururile de fond ale metalelor din cenușa plantelor, se pun în evidență pe hărți anomaliile biogeochimice cu valorile lor maxime. Pentru o claritate mai mare, hărțile biogeochimice se completează cu diagrame speciale (secțiuni sau profile cu conținutul în metale din cenușa plantelor (fig. X.71).

Pe lîngă materialele enumerate, raportul trebuie să cuprindă considerații geobotanice, legătura dintre învelișul vegetal și substratul geologic, metodologia aplicată, analizele probelor cu interpretarea anomaliilor, concluziile și recomandările finale. La raport se anexează: harta geologică a regiunii cercetate, planul cu poziția probelor biogeochimice prelevate, secțiunile biogeochimice, schițele cu descrierea lucrărilor miniere executate pentru verificarea anomaliilor biogeochimice.

Interpretarea anomaliilor biogeochimice. O anomalie biogeochimică trebuie să indice conținutul ridicat în cenușa plantelor pentru anumite elemente din minereu.

După gradul de intensitate, anomaliile se împart în:

— *anomalii intense*, cu conținut de metale în cenușa plantelor de zeci sau sute de ori mai mare decît conținutul fondului mineralogic;

— *anomalii slabe*, în limitele cărora conținutul de metale în cenușa plantelor este doar de cîteva ori mai mare decît al fondului mineralogic.

S-a observat că anomaliile biogeochimice sînt evidențiate atunci cînd corpurile de minereu sînt plasate la adîncimi mici, sub 25 m, sau cînd există un conținut ridicat de metale în minereuri, precum și atunci cînd mineralele din minereu trec ușor în minerale secundare sau sînt mai puțin solubile în apă.

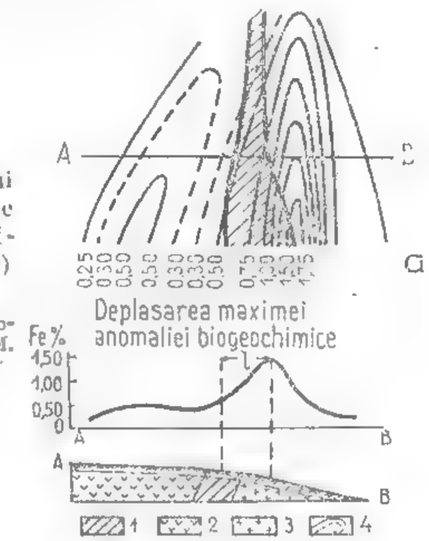


Fig. X.71. Harta biogeochimică a zăcămîntului de fier de la Nikolsk (*a*) completată cu secțiune geologică după linia *A—B* și diagrama conținutului în fier din cenușa de mesteacăn (*Betula*) (*b*):

1 — corpul de minereu; *2* — skarn; *3* — monzonite; *4* — izoconcentrate de Fe în cenușa de *Betula*, în % (după S. M. Tkalici).

Anomaliile biogeochimice slabe sînt evidențiate cînd:

— corpul de minereu, deși este plasat la adîncime mică (25 m), prezintă un conținut scăzut în metale;

— condițiile climatice nu favorizează procesele de alterare chimică sau organică;

— rocile au permeabilitate mare, formînd în jurul zăcămintelor aureole de dispersie a sărurilor cu concentrații mici de metale. În funcție de condițiile hidrologice și hidrogeologice, plantele pot să prezinte în cenușa lor concentrații mari în anumite metale, cu toate că zăcămintele sînt sărace.

S-a observat că, la un zăcămînt de crom, conținutul în Cr din cenușa plantelor variază de la 0,08 la 0,20%, acolo unde minereul nu depășește adîncimea de 10—15 m, pe cînd același conținut scade între 0,01—0,05% la adîncimea de peste 15 m.

Formarea unor astfel de anomalii este legată de aureole primare sau secundare de dispersie ale zăcămîntului. Deoarece conținutul de metale în aureole se micșorează pe măsura îndepărtării de corpul de minereu, și conținutul de metal în plantele ale căror rădăcini pătrund în aceste aureole depinde de adîncimea corpului de minereu. Uneori se constată anomalii biogeochimice slabe, legate de minereuri bogate situate aproape de suprafață, așa cum este cazul zăcămîntului de titano-magnetit de lîngă lacul Baikal (fig X.72). Cu toate că în acest zăcămînt conținutul de Fe și Ti din cenușa plantelor este mai mare decît conținutul fondului, anomalia biogeochimică este totuși mai slabă (S. M. Tkalici). Faptul se datorește mineralelor constituente ale zăcămîntului, puțin propice transformărilor în zona de hipergeneză.

De multe ori, mărimile anomaliilor biogeochimice ale minereurilor se plasează la oarecare distanță de corpurile de minereu. Acest proces se explică prin conținutul neuniform în metale din zona aureolelor prin dispersii mecanice sau hidraulice.

S-a observat că anomaliile biogeochimice precizează mai bine poziţia corpurilor de minereu decît anomaliile litochimice care dau limite destul de deplasate faţă de arealul corpului de minereu. Suprapunerea între anomalii se obţine cînd probele metalometrice sînt prelevate din humusul solului (fig. X.73).

Utilizarea metodei biogeochimice la prospectarea zăcămintelor de minereuri. Metoda biogeochimică se utilizează în prospecţiunea minereurilor atunci cînd metodele litogeochimice nu dau rezultate pozitive. Acest lucru se constată atunci cînd:

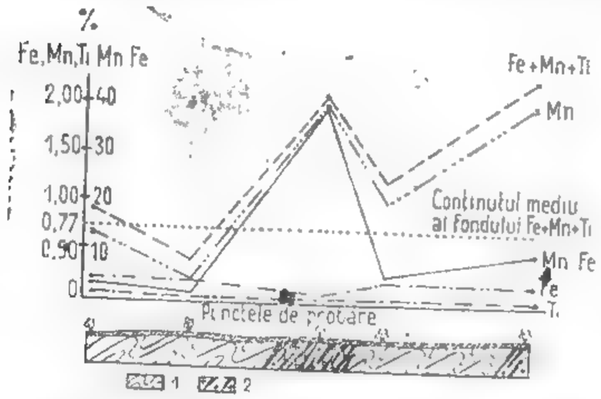


Fig. X.72. Conţinutul de Fe, Mn şi Ti în cenuşa mesteacănului *(Betula la verrucosa)* într-un zăcămînt de titanomagnetit:

1 — roci metamorfice; *2* — titanomagnetit în gabouri.

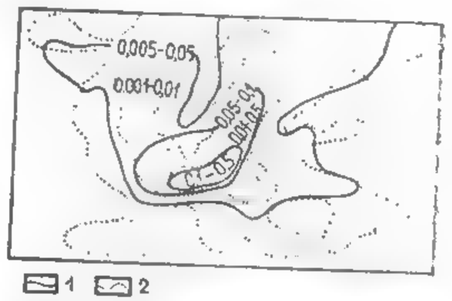


Fig. X.73. Suprapunerea anomaliilor geochimice determinate după analizele solului şi cenuşa plantelor la un zăcămînt din Altai cu izoliniile conţinutului în plumb, în %:

1 — în sol; *2* — în cenuşa plantelor.

— corpurile de minereu se plasează la adîncime mică şi nu au la suprafaţă aureole de dispersie;

— cînd corpurile de minereu şi rocile înconjurătoare sînt acoperite de depozite aluvionare sau cînd în arealul zăcămîntului apar podzoluri.

Metoda biogeochimică poate fi folosită şi la descifrarea anomaliilor geofizice. Prin această metodă a fost conturat un zăcămînt din Munţii Ural, după conţinutul de Cu şi Fe din cenuşa plantelor. Corpul de minereu se afla sub depozite cu grosimi de 6 pînă la 10 m (A. A. Veselov). Într-o altă regiune, din Finlanda, s-a demonstrat că la grosimea depunerilor mlăştinoase de 3—7 m conţinutul de molibden în frunzele de *Ledum palustre* (Şoaldină) este influenţat direct de distribuţia Mo în roca din culcuş.

Se apreciază că adîncimea de utilizare a metodei biogeochimice cu rezultate pozitive în descoperirea corpurilor de minereu este de 30 la 50 m (A. P. Vinogradov).

Cele mai favorabile obiective pentru prospecţiunile biogeochimice sînt sulfurile şi alte minereuri. Prin procese de oxidare se obţin produse solubile de alterare accesibile, sub formă de hrană, pentru plante. Aceeaşi metodă poate fi extinsă şi în prospectarea zăcămintelor nemetalifere şi chiar în cartările geologice. După conţinutul în Fe din cenuşa cetinei de brad *(Abies sibirica)* s-au putut stabili limitele cartografice dintre formaţiunile sedimentare de vîrstă carboniferă şi corpurile eruptive diabazice, depozitele fiind acoperite şi ascunse sub aluviuni (fig. X.74).

S-a constatat că nu toate zăcămintele dau anomalii concludente. După *Vinogradov*, îmbogăţirea plantelor şi solurilor cu anumite elemente chimice depinde de multe cauze şi înainte de toate de faptul dacă plantele cresc direct pe minereuri sau în apropierea lor. Experienţa însă a arătat că plantele se îmbogăţesc în metale de sute de ori în limitele cîmpurilor de minereu. Dar îmbogăţirea chiar numai de 10 ori indică o mineralizare bogată. În acest caz are importanţă schimbul de apă în plante, prezenţa rădăcinilor adînci, în special la plantele care trăiesc mai mulţi ani. Prin

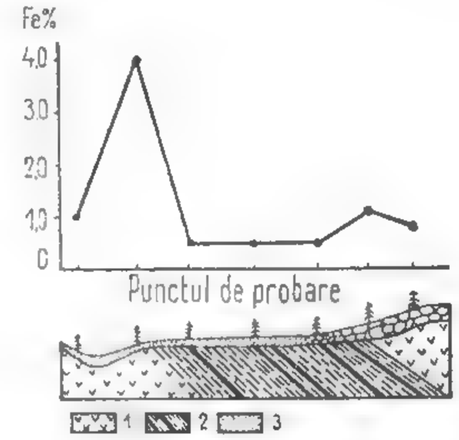


Fig. X.74. Diagrama conţinutului în Fe din cenuşa de *Abies sibirica* în zăcămîntul de la Kokuisk:

1 — eruptiv; *2* — formaţiuni sedimentare de vîrstă carboniferă; *3* — aluviuni.

metoda biogeochimică este posibilă determinarea mineralizaţiei pînă la adîncimea maximă de 100 m. Această metodă poate fi utilizată nu numai pentru prospectarea elementelor chimice ca Ni, Co, Zn, Pb, Cu, Sn, Ag, Cr, Mn, Fe, Au, W, Mo, U, V, ci şi pentru alte elemente cum ar fi Se, Be, Sr, Ba.

În ultimul timp, numeroasele regiuni prospectate prin metoda biogeochimică în lume reliefează utilitatea practică a acestei metode.

XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Prof. dr. docent, ing. ARON POPA

1. OBIECTIVELE ŞI CLASIFICAREA EXPLORĂRII, ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

1.1. OBIECTIVELE EXPLORĂRII

După ce zăcămîntul de substanţe minerale utile a fost descoperit prin lucrările de prospecţiune, se trece la o etapă superioară a procesului de cunoaştere a acestuia care este *explorarea*.

Explorarea cuprinde totalitatea lucrărilor necesare pentru a contura rezervele industriale de substanţe minerale utile şi preciza condiţiile de exploatabilitate a zăcămîntului.

Explorarea are ca obiective:

— stabilirea rezervelor de substanţe minerale utile, atît cantitativ cît şi calitativ. În acest scop lucrările de explorare trebuie să pună în evidenţă forma zăcămîntului extinderea sa pe orizontală şi pe verticală, direcţia şi înclinarea lui, variaţiile în continuitate, variaţia conţinutului şi componenţilor utili, caracterul rocilor înconjurătoare, tectonica zăcămîntului, hidrogeologia, caracterul mineralizaţiei etc.;

— stabilirea datelor privind utilitatea zăcămîntului în condiţiile unei exploatări raţionale, precum şi posibilitatea transformării substanţei minerale utile în produs finit;

— să furnizeze toate datele necesare proiectării unei întreprinderi miniere.

1.2. CLASIFICAREA LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Lucrările de explorare pot fi clasificate după scopul şi precizia lor, după metodele de lucru şi după natura substanţelor minerale căutate (tabelul XI.1).

a. După **scopul** şi **precizia lucrărilor**, explorarea se împarte în etape: explorarea preliminară, explorarea amănunţită sau de detaliu şi explorarea de pregătire sau de extindere.

Explorarea preliminară. Este prima etapă a explorării şi are ca obiectiv descifrarea în linii generale a formei zăcămîntului şi determinarea aproximativă a rezervelor acestuia.

Ea constă din lucrări mai puţin voluminoase, care se amplasează pe toată extinderea zăcămîntului, urmărind să determine cu aproximaţie:

— forma şi extinderea zonei mineralizate;

— adîncimea la care se găseşte zăcămîntul faţă de suprafaţă;

— caracteristicile geometrice ale zăcămîntului;

— natura mineralizaţiei şi variaţia acesteia pe direcţie şi înclinare;

— caracteristicile rocilor înconjurătoare.

Pe baza acestor elemente se face o evaluare economică a zăcămîntului.

Tabelul XI.1

Clasificarea lucrărilor de explorare

Criterii de clasificare	Felul explorării
a. După scopul lucrărilor şi gradul de aprofundare	Explorare preliminară Explorare amănunţită Explorare de pregătire şi în extindere
b. După metodele de lucru	Explorare prin lucrări miniere Explorare prin foraje Explorare combinată
c. După natura substanţelor utile	Explorarea zăcămintelor de minereuri Explorarea zăcămintelor de cărbuni Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere şi roci utile

Cu această evaluare se încheie etapa explorării preliminare şi se întocmeşte proiectul explorării de detaliu.

Metodologia de explorare preliminară trebuie adaptată la caracteristicile zăcămîntului căutat, care sînt foarte diferite. Totuşi se pot deosebi două metode generale care pot fi aplicate la varietatea mare a condiţiilor de zăcămînt, şi anume:

— metoda directă, care cuprinde lucrările sistematice ce constau din puncte de interceptare izolate sau reţele uniforme, ce pot conduce la rezolvarea detaliilor fie direct, fie completate cu puncte secundare de interceptare;

— metoda indirectă, care constă în formularea unei ipoteze privind extinderea zăcămîntului bazată pe argumente geologice şi întocmirea proiectului de explorare.

În realitate, apar însă cazuri cînd nu se poate formula o ipoteză asupra zăcămîntului sau cînd argumentele sînt contradictorii. De aici necesitatea de a separa explorarea preliminară în două subfaze:

— *explorare preliminară pregătitoare, care* cuprinde: cartări, lucrări miniere uşoare de suprafaţă, scurte galerii, lucrări geofizice şi geochimice şi, de la caz la caz, unele lucrări de referinţă;

— *explorarea preliminară principală*, subfază în care se determină principalii parametri pentru studiul tehnico-economic de etapă. Se promovează o mare parte din rezervele probabile sau de categoria C şi se conturează părţile accesibile ale zăcămîntului, precum şi caracteristicile acestuia (hidrogeologia, permeabilitatea etc.). Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări şi este de lungă durată.

Explorarea amănunţită (de detalia). Această etapă aduce o precizie mai mare în cunoaşterea elementelor caracteristice ale zăcămîntului, pe baza cărora se stabilesc

rezervele cantitativ și calitativ și repartizarea acestora pe sorturi și sectoare, și se stabilesc caracteristicile tehnologice ale substanței minerie utile.

În funcție de gradul de uniformitate al mineralizației și de gradul de regularitate al zăcămîntului, explorarea de detaliu poate fi făcută într-o singură fază sau în două faze — una de interceptare prin lucrări transversale și una de deschidere și urmărire continuă.

Explorarea de detaliu nu încetează odată cu începutul exploatării ci continuă pînă la determinarea rezervelor pe panouri de exploatare.

Explorarea de pregătire și în extindere. Se execută, de obicei în timpul exploatării zăcămîntului. În această etapă se face și pregătirea zăcămîntului pentru exploatare. Explorarea de pregătire are rosturi diferite, după tipul zăcămintelor și după nevoile exploatării. În unele cazuri este o pregătire a exploatării sistematice în zone încă neexploatate sau în adîncime, dînd ultimele precizări despre structura zăcămîntului, pentru exploatarea rațională a acestuia. În alte cazuri, la zăcămintele în exploatare, ea reprezintă extinderea explorării în zonele vecine și pregătirea pentru exploatarea propriu-zisă.

Această succesiune a explorării pe etape nu se aplică strict în practică. În timpul explorării, aceste etape se întrepătrund, se pot executa concomitent sau una din ele poate chiar lipsi, cînd rezultatele etapei precedente conduc la concluzii favorabile, fără a mai fi nevoie de alte lucrări.

b. După **metodele de lucru,** explorarea se împarte, ținînd seamă de felul lucrărilor, în: explorarea prin lucrări miniere, explorarea prin foraje și explorarea prin lucrări combinate (miniere și foraje).

Explorarea prin lucrări miniere se realizează prin diferite lucrări cum sînt șanțurile, tranșeele, puțurile, galeriile, nișele, jompurile, planele înclinate, suitorile și coborîtorile.

Metoda de explorare prin lucrări miniere se aplică în cazul zăcămintelor cu înclinare mare care aflorează și, în general, al zăcămintelor situate la adîncime mică față de suprafață.

Ea prezintă mari avantaje, fiindcă asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămînt.

Explorarea prin foraje. Lucrările de foraj se aplică pe scară mare în cercetarea zăcămintelor de diferite tipuri. De regulă se aplică la explorarea zăcămintelor de adîncime și în toate cazurile cînd nu este posibilă cercetarea prin lucrări miniere, sau cînd acestea sînt prea scumpe. Amplasarea lorajelor la suprafață se face pe baza indicațiilor obținute prin lucrările de prospecțiune. Forajele prezintă avantajul că se execută mai rapid și sînt mai ieftine decît lucrările miniere.

Explorarea combinată. Este cea mai folosită și cea mai indicată, în special în faza explorării de detaliu.

Lucrările miniere și de foraj pot fi executate concomitent sau succesiv.

c. După **natura substanțelor minerale utile** se disting: explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcăminte polimetalice etc.), explorarea zăcămintelor de cărbune, explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere.

Natura diferită a zăcămintelor și a condițiilor în care se găsesc localizate în scoarță impune anumite lucrări și o metodologie specifică fiecărui tip sau grupă de zăcăminte.

Pe baza rezultatelor obținute în activitatea de explorare, ținînd seama de particularități ce caracterizează un tip sau o grupă de zăcăminte, se poate alege metoda de explorare cea mai indicată.

Explorarea zăcămintelor de minereuri. Minereurile, în funcție de factorii naturali care determină metodologia lucrărilor de explorare, pot fi împărțite convențional în trei grupe:

— grupa I, care cuprinde zăcăminte mari și foarte mari, cu formă constantă, fără deranjamente și cu repartiția uniformă a componenților utili;

— grupa a II-a căreia îi aparțin zăcămintele cu dimensiuni mari și mijlocii, cu grosimi variabile și mineralizare continuă sau discontinuă;

— grupa a III-a cuprinde zăcămintele cu structură și formă complicată, cu mineralizație discontinuă și cu o repartiție foarte variată a componenților utili.

Explorarea zăcămintelor de cărbuni. Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate, uneori cutate sau faliate; în consecință și explorarea lor diferă de a celorlalte zăcăminte de substanțe minerale utile, care apar sub alte forme (lentile, stockuri, filoane etc.)

Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și roci utile. Substanțele minerale nemetalifere și rocile utile se caracterizează prin corpuri de formă neregulată și extindere variabilă. Explorarea lor se face prin lucrări miniere și foraje.

1.3. ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Proiectul lucrărilor de explorare trebuie să cuprindă în esență:

— baza geologică, geografică și economică existentă;

— tema lucrărilor de explorare și problemele care au rezultat din verificarea ipotezelor emise pe baza datelor geologice cunoscute anterior;

— soluțiile existente și cele estimate pentru rezolvarea problemelor explorării;

— planificarea executării lucrărilor de explorare

Pentru lucrările de explorare se pot întocmi: proiecte generale, proiecte de etapă și proiecte anuale.

Proiectul general de explorare cuprinde întregul program de lucrări de explorare pînă la studiul tehnico-economic de etapă, sau pînă la darea în exploatare a zăcămîntului.

Proiectul de etapă pregătitoare cuprinde volumul de lucrări de explorare necesar pentru clarificarea perspectivei unui perimetru și cunoașterea în linii generale a structurii și extinderii zăcămîntului.

Proiectul anual cuprinde numai lucrările de explorare ce pot fi executate în cuprinsul unui an. Lucrările planificate anual sînt defalcate din cele care reprezintă o etapă de explorare.

Proiectele se întocmesc pentru fiecare sector de explorare și conțin devizele necesare decontării lucrărilor.

Tema proiectului de explorare cuprinde, în general, sarcina rezolvării unei anumite probleme de explorare, condițiile de lucru și devizele lucrărilor.

Scopul urmărit prin proiectele de explorare este de a găsi soluțiile optime de execuție a lucrărilor pentru cercetarea unui zăcămînt și o dirijare judicioasă a acestora pentru obținerea celor mai bune rezultate. În acest sens ele trebuie să cuprindă, pentru fiecare lucrare în parte, *volumul fizic* proiectat, exprimat în metri liniari reali și convenționali, și *volumul valoric*, exprimat în lei deviz și valori comparabile.

În ceea ce privește fondurile din care se vor finanța lucrările de explorare, acestea pot fi fonduri de investiții sau de producție.

Ca formă de întocmire, proiectele constau din două părți: partea *geologică* și partea de *deviz*.

Rezultatele obținute într-o anumită etapă de lucrări sînt cuprinse în *rapoarte* care pot fi: *anuale*, cu caracter informativ, și *rapoarte de sinteză*, care se întocmesc

de obicei pentru o perioadă de cîțiva ani.

Rapoartele de sinteză conțin următoarea schemă, formată din patru părți:

Partea I-ii — care se referă la situația geologică, cuprinde: date generale asupra regiunii în care este situat zăcămîntul; geologia regiunii, geologia zăcămîntului, caracteristicile calitative și tehnologice ale substanței minerale utile, condițiile hidrogeologice ale zăcămîntului, condițiile tehnico-miniere de exploatare și concluzii.

Partea a II-a — se referă la calculul rezervelor, cuprinzînd: metodologia de probare, determinarea parametrilor și calculul rezervelor, concluzii.

Partea a III-a — cuprinde anexele la text, situația topografică etc.

Partea a IV-a — cuprinde tabelele și materialul grafic referitoare la situația geologică, hidrogeologică, calculul rezervelor etc.

2. EXPLORAREA PRIN LUCRĂRI MINIERE

2.1. CRITERII DE PROIECTARE A LUCRĂRILOR MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere dau posibilitatea cercetării minuțioase a constituției și structurii complicate, obișnuite în zăcămintele de minereuri și pot fi readaptate în vederea extinderii cercetării zăcămîntului explorat și pus în exploatare. În mare parte, lucrările miniere de explorare vor putea deservi și viitoarea exploatare. În acest scop, ele trebuie concepute și executate pe baza unui proiect, în care să fie studiat ansamblul lucrărilor geologice în raport cu zăcămîntul și condițiile de exploatare. În proiect trebuie să se efectueze un calcul tehnico-economic, pe baza căruia să se tragă concluzia dacă acestea pot fi de la început construite pentru o durată mai lungă sau dacă este mai economic să fie abandonate și apoi reconstruite.

Condițiile care trebuie îndeplinite de lucrările miniere de explorare sînt următoarele:

— să se execute suficient de rapid pentru a nu lăsa investiții mari neproductive timp îndelungat;

— să fie efectuate pe baza unei documentații în care să se prevadă secțiunea, punctul de pornire, direcția, panta, canalul și alte date privind: săparea, transportul, aerajul etc., și specificarea privind utilizarea și durata;

— să poată fi readaptate pe parcurs;

— să fie evitată, pe cît posibil, plasarea lor în zone cu roci friabile sau care se dezagregă ușor, deoarece în afară de dificultățile în timpul lucrului, întreținerea lor este mai grea;

— să se țină seama de posibilitatea utilizării lor în viitoarea exploatare și de durata lor. Sub acest aspect se disting următoarele categorii de lucrări miniere:

a) *Lucrări de durată lungă, care necesită întreținere*, categorie în care intră:

— lucrări de acces principal la zăcămînt, de aeraj principal, de evacuare a apelor; lucrări de amenajare principale (galerii de pătrundere sau de legătură, de lung metraj); puțuri de transport și de aeraj; amenajări speciale (bazine de colectare a apelor, remize, depozite de explozivi etc.);

— lucrări de trasaj, de deschidere și de legătură (galerii transversale și galerii direcționale, suitori, rostogoluri).

b) *Lucrări de durată lungă care nu necesită întreținere*: galerii transversale; galerii direcționale; suitori și rostogoluri.

c) *Lucrări de durată problematică*: galerii de cercetare; suitori de cercetare.

d) *Lucrări de durată mică, cu scop limitat*: șanțuri, puțuri de mînă, breșe de cercetare, jompuri de cercetare, camere pentru instalația de foraj etc.

În proiectele generale trebuie justificate lucrările miniere, în special cele de lungă durată, de lung metraj sau cu costuri ridicate. Se vor mai prezenta și variante de lucrări miniere mai complete, care ar putea să deservească în continuare explorarea de detaliu sau chiar exploatarea.

Este recomandabil ca orice lucrare minieră proiectată să fie încadrată de la început în clasele de mai sus și să fie dimensionată și tratată în mod corespunzător.

În mod avantajos se pot explora, prin lucrări miniere, zăcămintele puțin înclinate de mică adîncime și zăcămintele de înclinare mare, dezvoltate în terenuri cu relief pronunțat deasupra nivelului văilor.

În general, ținînd seama de aceste condiții de zăcămînt, în proiectarea lucrărilor de explorare se aplică:

— explorarea prin puțuri de mînă amplasate pe aliniamente (linii) de explorare sau în rețea, pentru zăcămintele orizontale și puțin înclinate;

— explorarea prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri de mînă) și apoi în adîncime prin puțuri de explorare, galerii, suitori, coborîtori și plane înclinate pentru zăcămintele cu înclinare mare.

Metodologia explorării prin lucrări miniere are la bază următoarele operații:

— alegerea tipurilor de lucrări de explorare, ținînd seama de forma și așezarea zăcămîntului în scoarță;

— alegerea modului de amplasare a lucrărilor miniere;

— stabilirea intervalelor și a modului de probare a zăcămîntului;

— alegerea scării planurilor topografice și documentarea geologică a lucrărilor miniere.

Lucrările miniere de explorare prezintă avantajul că în bună parte pot fi folosite în faza de exploatare, iar din punct de vedere tehnic și științific asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămînt. În anumite situații însă, datorită costului ridicat al acestora, sînt recomandabile forajele.

2.2. TIPURI ȘI SECȚIUNI DE LUCRĂRI MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere de explorare sînt: șanțurile, tranșeele, puțurile de mînă, puțurile de explorare, galeriile, planele înclinate, suitorile și coborîtorile.

Dintre acestea, șanțurile, tranșeele și puțurile de mînă se folosesc și în prospecțiune.

În condiții optime se explorează cu lucrări miniere zăcămintele cu înclinare mare, care aflorează sau sînt situate într-un relief accidentat, precum și cele cu înclinare mică, dacă nu sînt situate la adîncime prea mare de suprafață; în primul caz explorarea se continuă prin lucrări combinate: șanțuri, galerii, puțuri și suitori; în al doilea caz, primele lucrări vor fi puțurile sau planele înclinate, după care se continuă explorarea prin lucrări combinate: galerii și puțuri sau plane înclinate.

Forma, dimensiunile de săpare a lucrărilor miniere și modul de susținere a acestora sînt determinate de obiectivul urmărit, de natura formațiunilor prin care se sapă și de durata de existență precum și de lungimea proiectată a lucrării miniere respective. Toate acestea sînt reglementate prin Norme ale Ministerului Geologiei (tabelul XI.2)

Tabelul XI. 2

Secțiuni și profile de săpare ale lucrărilor miniere de explorare, modul de susținere și de utilizare a acestora

Secțiunea de săpare (S) pentru												Susținerea cu [m³/ton]				Ø tub aeraj [mm]	Mijloc de încărcare	Mijloc de transport		Lungimea maximă a lucrării [m]
Torcret sau nesusținut		Lemn		Metal				Beton				Vatră închisă		Circular				Tipul locomotivei	Capacitate vagonet [m³]	
				Normal		Circular		Normal		Potcoavă										
Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S	Simb.	S					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
GALERII																				
G1T	2,30	G1L	3,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Manual	—	—	<5
G2T	3,50	G2L	5,00	—	—	G2Mc	5,60	—	—	—	—	—	—	—	—	400	Manual	—	0,6	6—50
G3T	4,50	G3L	6,20	G3M	6,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	MIP-2	LAM-4	1,0	51—500
G4T	5,60	G4L	6,80	G4M	6,80	G4Mc	6,70	G4B	7,30	G4Bp	7,30	G4Bv	3,00	G4Bc	8,00	600	MIP-2	LDM-45	1,0	501—1500
G5T	6,80	—	—	—	—	G5Mc	9,00	G5B	8,50	C5Bp	8,50	G5Bv	9,30	G5Bc	10,20	600	MIC-3	LM-7	3,0	1501—3500
G6T	8,00	—	—	—	—	—	—	—	—	G5Bp	8,50	G5Bv	9,30	—	—	600	MIB	LM-14	7—11	>3500
G7T	9,40	G7L	9,70	—	—	—	—	G7B	11,50	G7Bp	12,40	G7Bv	14,00	—	—	600	MIC-3	LM-7	1,0	—
G8T	11,00	—	—	—	—	—	—	G8B	13,10	G8Bp	15,30	G8Bv	18,30	—	—	600	MIB*	LM-14	3,0	—
PLANE ÎNCLINATE																				
PL1T	5,20	PL1L	6,70	PL1M	6,70	—	—	—	—	—	—	—	—	PL1Bc	8,00	600	Manual	Troliu	1,0	≤250
PL2T	8,00	—	—	—	—	PL2Mc	9,00	—	—	—	—	—	—	PL2Bc	10,20	600	—	—	—	—
SUITORI																				
S1T1	3,20	S1L	5,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	S1Bc	5,10	400	—	—	—	≤20
S2T1	5,10	S2L	6,70	S2Tm	5,10	S2Mc	6,70	—	—	—	—	—	—	S2Bc	6,70	500	—	—	—	≤300**
PUȚURI																				
—	—	P1L	2,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Manual	—	—	≤5
—	—	P2L	3,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Manual	—	—	5—15
—	—	P3L	5,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	300	Manual	—	—	15—30
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	P4Bc	17,30	600	Graifăr	—	0,6	<100
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	P5Bc	20,40	2×600	Graifăr	—	1,0	100—400
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	P6Bc	25,50	2×600	Graifăr	—	1,0	>500

sau ale Ministerului Minelor (pentru lucrările geologice prin lucrări miniere care au acces din incinta exploatărilor miniere și se execută în regie proprie a acestora).

Alegerea tipului de lucrări miniere (șanțuri, tranșee, puțuri, galerii etc.) depinde de forma și poziția zăcămîntului (corpului de substanță minerală) precum și de grosimea rocilor acoperitoare.

2.2.1. ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

2.2.1.1. Șanțuri de explorare

Sînt lucrări miniere de explorare simple și ușor de executat. Ele se execută în etapa explorării preliminare ca și în faza de prospecțiune, cînd rocile acoperitoare au grosimi de 0,5—4 m și cînd înclinarea zăcămîntului este, în general, mare.

Obiective urmărite. Șanțurile de explorare se folosesc în etapa de explorare preliminară, urmărind în principal verificarea și completarea datelor din prospecțiune, date referitoare la:

— delimitarea mineralizației și a contactului dintre aceasta și rocile înconjurătoare;
— verificarea și trasarea mai exactă a liniei de afloriment;
— determinarea elementelor de poziție și geometrice ale corpului de substanță minerală utilă: direcție, înclinare, grosime, lungime etc.;
— completarea secțiunilor geologice;
— probarea corpului de substanță minerală utilă;
— cercetarea anomaliilor geofizice și geochimice;
— verificarea grosimii depozitelor acoperitoare;
— traversarea zonei alterate din cadrul unui afloriment etc.

Rezultatele obținute din șanțurile și tranșeele de explorare reprezintă argumente pentru amplasarea lucrărilor următoare, urmărindu-se totodată completarea informațiilor la suprafața corpului de substanțe minerale utile.

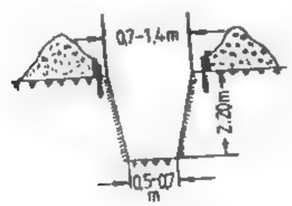


Fig. XI.1. Șanț de explorare cu profil trapezoidal.

Fig. XI.2. Șanț de explorare cu pereții în trepte (secțiune transversală).

Forma și dimensiunile șanțurilor de explorare depind de tăria și grosimea formațiunilor acoperitoare. De obicei au profil trapezoidal, cu baza mică cuprinsă între 0,5 și 0,7 m, iar lățimea la gură de 0,7—1,4 m (fig. XI.1). Adîncimea șanțurilor nu depășește 2—4 m. La adîncimi de peste 2 m șanțurile se sapă în trepte (fig. XI.2).

Înclinarea pereților este de 1/10—1/5, în funcție de tăria rocilor. Lungimea șanțurilor este în funcție de obiectivul urmărit.

Șanțurile trebuie să pătrundă la bază în roca vie sau în mineralizație pe o adîncime de 0,10—0,50 m, putînd avea vatra orizontală sau înclinată, în funcție de configurația reliefului terenului în care se sapă.

Amplasarea șanțurilor de explorare. Șanțurile de explorare se utilizează în următoarele condiții:

— pentru zăcăminte de formă tabulară cu înclinare mare;
— pentru zăcăminte mascate de depozite acoperitoare cu grosime cuprinsă între 0,5 m și 4 m, după ce au fost puse în evidență prin prospecțiune geologică, geochimică sau geofizică;
— în combinație cu puțurile de mînă și uneori chiar cu foraje de mică adîncime.

Pentru atingerea scopului urmărit prin șanțurile de explorare, la amplasarea lor se ține seama de o serie de factori cum ari fi:

— rezultatele prospecțiunilor;
— forma și dimensiunile corpului, cunoscute pînă în acest stadiu;
— direcția și înclinarea corpului cunoscute din aflorimente sau din lucrările anterioare;
— grosimea depozitelor acoperitoare, evitîndu-se porțiunile de teren cu grosime mare (> 4 m), dolinele, văile inundabile etc., iar pentru zonele în care nu se dețin informații cu privire la grosimea depozitelor, șanțurile sînt precedate de cîteva puțuri de mînă sau chiar de foraje manuale;
— de prezența în zonă a unor obiective mai mult sau mai puțin accesibile.

Atît amplasarea șanțurilor cît și executarea lor trebuie să pornească de la puncte cunoscute) pe cît este posibil) spre puncte mai puțin cunoscute.

Amplasarea se poate face în funcție de obiectivele urmărite, după cum urmează:

— izolat;
— după linia presupusă de afloriment;
— pe aliniamente;
— în rețea;

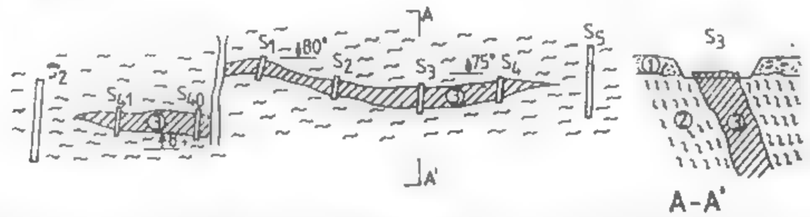


Fig. XI.3. Amplasarea șanțurilor de explorare urmînd linia presupusă de afloriment a unui corp mineralizat de formă tabulară:
1 — depozite acoperitoare (sol vegetal); *2* — șisturi cristaline; *3* — corp tabular cu mineralizație polimetalică; S_1, S_2... S_{42} — șanțuri de explorare preliminară.

În ce privește etapa de cercetare, șanțurile se utilizează în prospecțiune, în explorarea preliminară, cu totul excepțional în explorarea de detaliu și în explorarea de extindere în suprafață.

În *cazul zăcămintelor de formă tabulară cu înclinare medie sau mare*, amplasarea șanțurilor urmărește, de regulă, linia presupusă de afloriment (fig. XI.3), explorarea făcîndu-se în combinație cu alte tipuri de lucrări (puțuri de mînă sau foraje), pre-

cedînd aceste lucrări, sau se mai pot utiliza și în mod izolat. Indiferent de modul cum sînt distribuite spațial, fiecare șanț se amplasează cu axa mare cît mai perpendicular pe linia presupusă de afloriment în acel punct (respectiv direcția corpului). Numerotarea șanțuri or în etapa de explorare trebuie făcută în așa fel încît să nu se suprapună

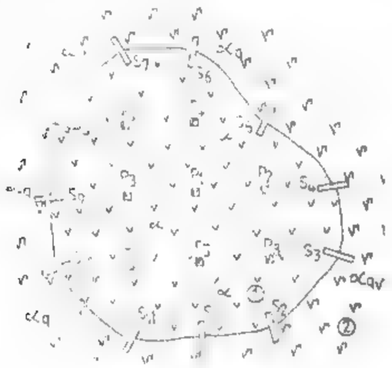


Fig. XI.4. Amplasarea șanțurilor pentru delimitarea unui corp subvulcanic:

1 — andezit subvulcanic; *2* — andezit vulcanic; $S_1 \ldots S_{11}$ — șanțuri de explorare preliminară; $P_1 \ldots P_8$ — puțuri de mină.

cu numerotarea făcută în prospecțiune și totodată să reprezinte și ordinea de executare.

Pentru *zăcămintele de formă tabulară cu înclinare mică* (≤ 15°), *orizontale sau de formă lenticulară și colonară*, localizate cît mai aproape de baza de eroziune, șanțurile se amplasează pe toată suprafața corpului, în rețea sau pe aliniamente (dacă grosimea depozitelor acoperitoare este mai mică de 4 m), sau în combinație cu puțurile de mină sau/și foraje de la suprafață (cînd numai anumite porțiuni permit explorarea cu șanțuri). Rețeaua, în ambele situații, poate avea formă pătratică sau dreptunghiulară. În situația concretă din fig. XI.4 (zăcămînt de formă colonară — *porphyry copper*) — se amplasează în zona centrală, pe baza anomaliilor geofizice, puțuri de mină, iar în zona limitei geologice presupuse (perpendicular pe aceasta) se amplasează șanțuri.

În *cazul zăcămintelor metasomatice de contact* (fig. XI.5) șanțurile se amplasează în explorarea preliminară pentru verificarea anomaliilor geofizice. În acest caz ele au lungime mai mare și, pentru punerea în evidență a limitei dintre rocile carbonatice și skarn, pe de o parte, și a limitei dintre skarn și rocile eruptive pe de altă parte, dar indiferent de scopul urmărit, șanțurile se amplasează pe *aliniamente paralele*.

Șanțurile se mai amplasează și pe *aliniamente neparalele* (fig. XI.6), urmărindu-se în acest caz punerea în evidență într-o primă fază a sorturilor de minereu și a limitei corpului eruptiv, urmînd ca investigarea în profunzime să se facă cu foraje.

Pentru situațiile în care șanțurile se folosesc în combinație cu puțuri de mină și cu foraje (fig. XI.7) — cazul explorării unor zăcăminte de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontale, localizate într-un relief mai puțin accidentat cu treceri la zone cu relief accidentat — șanțurile de explorare completează șanțurile de prospecțiune în ce privește trasarea cît mai exactă a liniei de afloriment, fiind urmate de puțuri de mină sau de foraje, după cum relieful permite acest lucru.

Săparea și susținerea șanțurilor de explorare. Săparea se face manual, în arii de slabă consistență cum sînt solurile, aluviunile etc. și cu ciocanul de abataj sau cu explozivi, în rocile tari și foarte tari. În terenuri cu pante mici sau mijlocii, în argile, nisipuri, pietrișuri, săparea șanțurilor se face cu ajutorul excavatorului.

Evacuarea materialului derocat se face prin lopătare directă sau în cascadă, cu ajutorul unor poduri ajutătoare.

Șanțurile nu se susțin decît în anumite cazuri, cînd rocile au stabilitate redusă și cînd trebuie menținute o durată mai mare de timp. În acest caz, susținerea se face cu margini de lemn sau cu scîndurii cu grosime de 25 mm, care se așază în lungul pereților șanțului și se întăresc cu propte (spraițuri) fixate la intervale de 1—1,5 m,

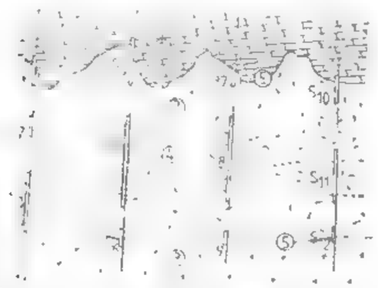


Fig. XI.5. Amplasarea șanțurilor pe aliniamente paralele, pentru verificarea anomaliilor geofizice și delimitarea zonei de skarn:

1 — calcare; *2* — skarn; *3* — roci eruptive; *4* — anomalie geofizică; *5* — limită geologică; $S_1 \ldots S_{12}$ — șanțuri de explorare

Fig. XI.6. Amplasarea șanțurilor pe aliniamente neparalele pentru explorarea zăcămintelor de formă circulară (corpuri):

1 — andezit mineralizat; *2* — andezit nemineralizat; $S_1 \ldots S_{16}$ — șanțuri de explorare.

Fig. XI.7. Explorarea în rețea, cu șanțuri, puțuri de mină și foraje:

1 — depozite aluvionare; *2* — deluvii; *3* — zonă de afloriment; *4* — șanț de prospecțiune; *5* — șanț de explorare; *6* — puțuri de mină; *7* — foraje; *8* — delimitarea rețelei.

în desiș sau la anumite distanțe, în funcție de stabilitatea rocilor, sau se pun în spatele unor stîlpi care se fixează în vatra șanțului de-a lungul acestuia.

Documentarea geologică a șanțurilor de explorare. Documentarea geologică a șanțurilor este operația cea mai importantă din cadrul explorării cu aceste lucrări și începe imediat după săpare sau se face concomitent cu săparea. Ea trebuie executată cu foarte mare atenție, deoarece în funcție de rezultatele obținute se iau o serie de decizii în ceea ce privește continuarea cercetării.

Fazele documentării sînt următoarele:

Amplasarea pe harta geologică sau pe planul de situație se face în funcție de scara acestora și în funcție de distanțele măsurate din teren (cu ruleta sau cu pasul), de la puncte deja ridicate topografic și care fac parte din hartă pînă la șanțul care face obiectul cercetării. Trecerea pe hartă sau pe planul de situație se face în funcție de azimutul orientării șanțului (al axei mari sau al laturii mari).

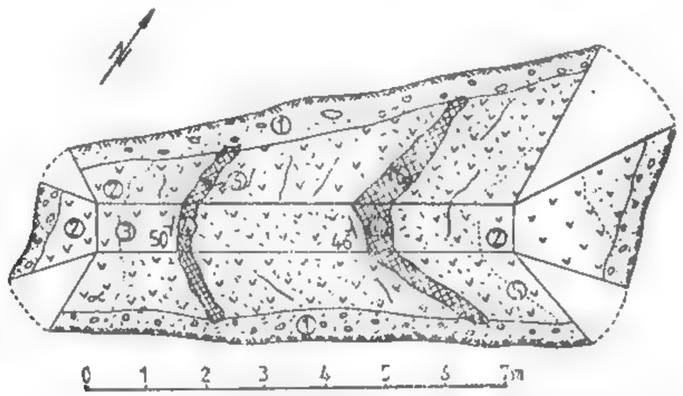


Fig. XI.8. Cartarea desfășurată a unui șanț:

1 — sol, *2* — andezit nealterat; *3* — andezit alterat hidrotermal și fisurat; *4* — filoane; *5* — limită de alterare; *6* — probă sub formă de brazdă.

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren și în teren, cuprinzînd două faze: cartarea desfășurată și descrierea șanțului.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1:20, 1:50, 1:100, 1:200 (rar) și 1:500 (foarte rar). Se cartează pereții, capetele și vatra șanțului (fig. XI.8).

Etapele cartării desfășurate sînt următoarele:

— măsurarea dimensiunilor și realizarea desfășuratei (rabatarea pereților și a capetelor șanțului în plan orizontal);

— trecerea în revistă a formațiunilor și a elementelor structurale, fixîndu-se datele care se trec pe desfășurată;

— marcarea direcției nord și a direcției de săpare;

— marcarea datelor mineralogice, petrografice, paleontologice (dacă este cazul);

— marcarea elementelor structurale — falii, fisuri (evitîndu-se fisurile rezultate de la împușcare);

— marcarea datelor hidrogeologice;

— marcarea zonelor de alterație;

— marcarea direcției și înclinării corpului de substanțe minerale utile și a faliilor;

— marcarea locului de prelevare a probelor;

— marcarea porțiunilor care urmează a fi detaliate;

— marcarea tuturor detaliilor care pot fi menționate la scara aleasă, fără a încărca desfășurata.

Descrierea șanțului se face imediat după cartarea desfășurată, dar nu înainte de întocmirea legendei cu semnele folosite la reprezentare. La descriere se trec următoarele date:

— numărul șanțului;

— amplasamentul șanțului;

— data începerii și terminării șanțului;

— dimensiunile șanțului;

— orientarea șanțului;

— descrierea fiecărui tip de rocă (observații macroscopice);

— descriera substanței minerale utile;

— azimutul direcției, înclinarea corpului și a contactelor dintre roca înconjurătoare și corpul de substanțe minerale utile;

— gradul de alterare și fisurare;

— eventualele sorturi de minereu și a raporturilor dintre ele;

— detaliile structurale (fisuri, falii); eventual se poate întocmi diagrama fisurilor;

— caracteristicile hidrogeologice (debite, temperaturi, mineralizări etc.);

— descrierea punctelor fosilifere și a fosilelor;

— descrierea tipului de probe și a locului de probare;

— toate detaliile cu privire la observațiile făcute și care nu au putut fi menționate pe desfășurată la scară.

Atît cartarea desfășurată cît și descrierea șanțurilor servesc nemijlocit la întocmirea documentației finale (raportul de etapă).

Probarea substanței minerale utile se face atît pentru determinarea caracteristicilor mineralogice, petrografice, cît și pentru determinarea caracteristicilor chimice. Probele mineralogice și petrografice se recoltează prin metoda eșantionării.

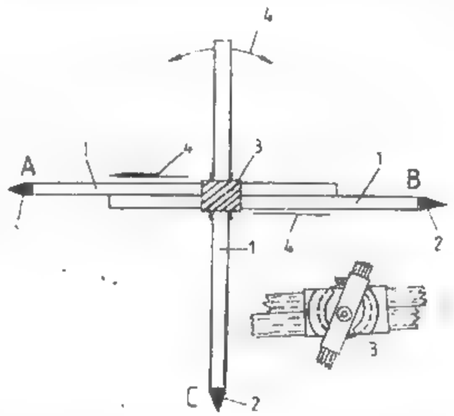


Fig. XI.9. Dispozitiv cruce:

1 — rigle din lemn sau material plastic (*A*, *B*, *C*); *2* — capete metalice; *3* — placă din material nemagnetic; *4* — sensuri de mișcare.

Probele chimice se prelevează sub formă de brazde amplasate pe unul din pereții șanțului și numai în cazuri excepționale (cînd mineralizația nu apare pe pereți) se recoltează și din vatră, deoarece pericolul de contaminare este foarte mare (v. și Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile).

Determinarea azimutului direcției și înclinării corpului zăcămîntului, a contactelor sau a faliilor se face cu *busola geologică* aplicată direct (la fel ca în cazul deschiderilor naturale) sau aplicată pe *dispozitivul cruce* (fig. XI.9). În cazul în care se folo-

sește acest dispozitiv, se urmărește foarte atent materializarea planului a cărui azimut al direcției și înclinării trebuie măsurat, iar în continuare se fixează rigleta *A* pe unul din pereți (pe urma planului de măsurat) și rigleta *B* pe celălalt perete (pe urma aceluiași plan), iar rigleta *C* pe urma planului din vatra șanțului.

După materializarea planului de măsurat (cu ajutorul dispozitivului cruce) se așază busole pe placa dispozitivului la fel ca și pe fața de strat, filon, contact, falie etc.

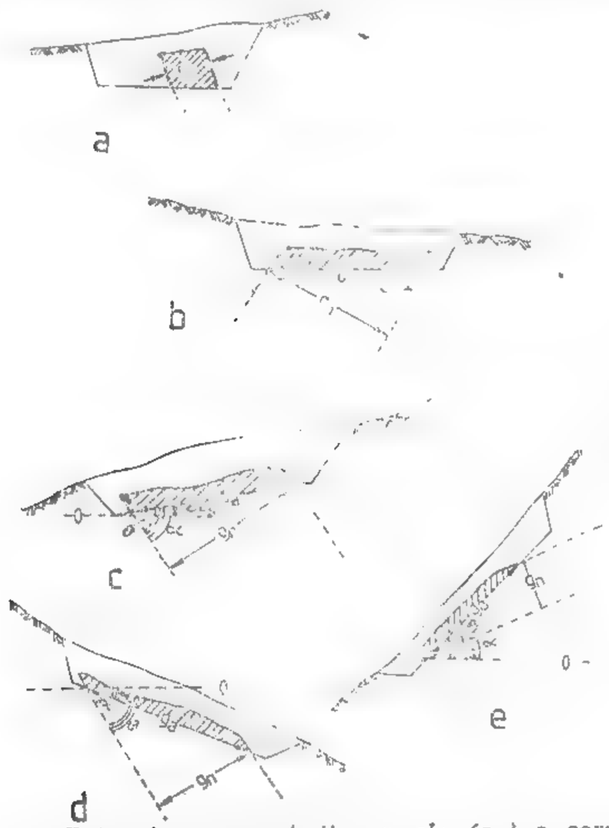


Fig. XI.10. Determinarea grosimii normale a corpurilor de substanțe minerale utile interceptate prin șanțuri de explorare.

Determinarea grosimii normale (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate face prin măsurarea directă pe unul din pereții șanțului (fig. XI.10, *a*), în cazul în care grosimea normală a corpului (g_n) se încadrează pe pereți, sau se poate determina în funcție de grosimea orizontală (g_0) sau de grosimea aparentă (g_a) și în funcție de unghiul înclinării corpului (α) și a unghiului înclinării vetrei șanțului (α_s). Cîteva situații care se întîlnesc destul de frecvent în activitatea geologică de explorare:

a) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra orizontală (fig. XI.10, *b*):

$$g_n = g_0 \sin \alpha;$$

b) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și invers decît înclinarea corpului (fig. XI.10, *c*):

$$g_n = g_a \sin \theta; \quad \theta = \alpha + \alpha_s$$

c) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosime mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și în sensul înclinării corpului (fig. XI.10, *d* și *e*):

— cînd $\alpha_s < \alpha_n$; $g_n = \sin \theta$; $\theta = \alpha - \alpha_s$; (fig. XI. 10, *d*);

— cînd $\alpha_s > \alpha_n$; $g_n = g_a \sin \theta$; $\theta = \alpha_s - \alpha$; (fig. XI. 10, *e*);

Abandonarea șanțurilor. Abandonarea șanțurilor se realizează după documentarea completă și constă în recuperarea materialului de susținere (dacă este cazul), după care urmează umplerea lui cu material excavat, pentru prevenirea accidentelor.

2.2.1.2. Tranșee de explorare

Dacă grosimea stratelor acoperitoare depășește 4 m, șanțurile se sapă cu profile mai mari, ca să se poată executa săparea și susținerea pereților, numindu-se în acest caz *tranșee*. Din ele, ca și din puțurile de mînă se pot săpa galerii, în scopul cunoașterii mai precise a rocilor acoperitoare (fig. XI.11).

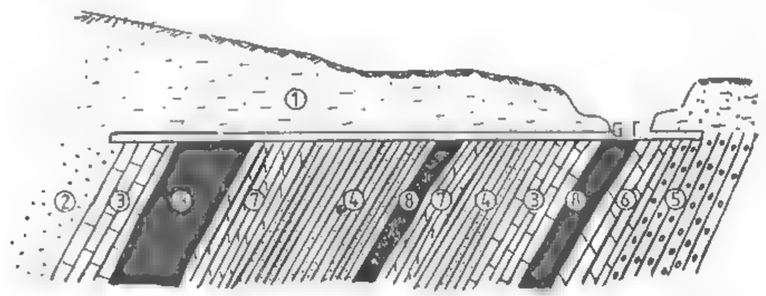


Fig. XI.11. Tranșee de explorare din care se pot executa galerii transversale:

1 — nisip argilos; *2* — nisip; *3* — calcar; *4* — gresie; *5* — conglomerat; *6* — marnă; *7* — argilă marnoasă; *8* — cărbune; *GT* — galerie transversală.

După documentarea geologică și raportarea lor la planuri, tranșeele se închid prin rambleiere, recuperîndu-se în prealabil susținerea în cazul cînd acestea au fost susținute.

2.2.2. PUȚURI DE MÎNĂ (ȘURFURI)

Puțul de mînă este o lucrare minieră de explorare ușoară, vrticală, executată de la zi, de adîncime și secțiune mică și de scurtă durată.

Obiective urmărite. Prin puțurile de mînă se urmărește, ca și prin șanțuri, determinarea elementelor de așezare a zăcămîntului, a caracteristicilor sale calitative și cantitative etc.

Pe lîngă aceste obiective se mai urmărește:

— completarea datelor primite din șanțuri;

— traversarea rocilor acoperitoare de grosime mai mare de 4 m (cînd nu mai sînt eficiente șanțurile);

— executarea secțiunilor geologice (prin completarea datelor obținute din cartare și din șanțuri);

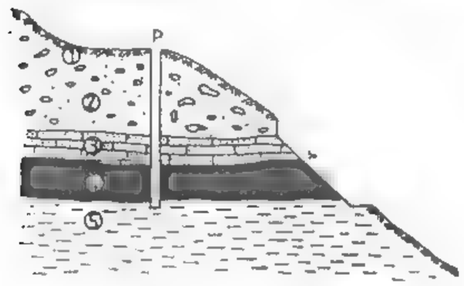


Fig. XI.12. Explorarea cu puț de mînă (șurf) izolat, pentru completarea informațiilor din șanțuri:

1 — sol vegetal; *2* — depozite de terasă; *3* — gresii calcaroase; *4* — strat de cărbune; *5* — argilă; *ș* — șanț de explorare; *p* — puț de mînă.

— probarea informativă a mineralizației (pe lîngă probe mineralogice, petrografice și chimice se mai recoltează și probe tehnologice);

— identificarea pînzelor de apă;

— cercetarea anomaliilor geochimice, geofizice etc.

Amplasarea puțurilor de mînă. La amplaasrea acestora se ține seama de indicațiile directe și indirecte cu privire la existența zăcămîntului, de morfologia terenului, evitîndu-se rocile și porțiunile inundabile, iar în zonele cu precipitații abundente se iau toate măsurile împotriva inundațiilor (amplasamentul se protejează prin șanțuri scurte pe înclinare în amonte de amplasament).

Locul de amplasare se nivelează, după care se marchează cu țăruși colțurile în cazul puțurilor de profil dreptunghiular și pătratic sau centrul cercului în cazul puțului de profil circular.

În cazul puțurilor de profil dreptunghiular se urmărește ca latura mare a puțului să fie perpendiculară pe direcția presupusă a corpului de substanțe minerale utile.

Puțurile de mînă se pot amplasa izolat, în cazul cînd înlocuiesc unele șanțuri (fig. XI.12), în funcție de cerințele locale, sau se pot amplasa pe aliniamente și în rețea în momentul în care completează o rețea de șanțuri (v. fig. XI.4 și respectiv XI.7).

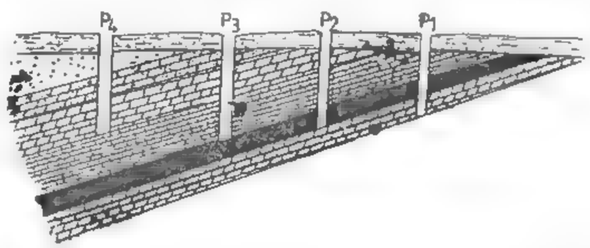


Fig. XI.13. Plasarea și adîncimea relativă a puțurilor de mînă.

Cînd se dispun pe aliniamente perpendicular pe direcția presupusă a corpului, puțurile de mînă se amplasează în așa fel încît distanța între aliniamente să fie un multiplu al distanței dintre puțurile de pe un aliniament, iar lucrările de pe direcția unui aliniament să nu formeze aliniamente cu celelalte aliniamente. De obicei, la alegerea distanței se are în vedere ca fiecare puț să traverseze stratul în care s-a oprit puțul precedent (fig. XI.13). Prin calcul această distanță se determină cu relația $L = A/\text{tg}\,\alpha$.

în care A este adîncimea la care apare stratul reper în puț, iar α — unghiul de înclinare al stratului reper.

Folosirea puțurilor de mînă este indicată în toate etapele de explorare geologică, cînd situațiile concrete permit acest lucru (corpuri de dimensiuni mari, înclinare medie și mică, localizare cît mai aproape de suprafața terenului).

Forma și dimensiunile puțurilor de mînă. Puțurile de mînă au profil dreptunghiular și se sapă de regulă pînă la adîncimea de 15—20 m, rareori ajungînd pînă la maximum 30 m. Secțiunea de săpare a puțurilor de mînă se adoptă în funcție de adînci-

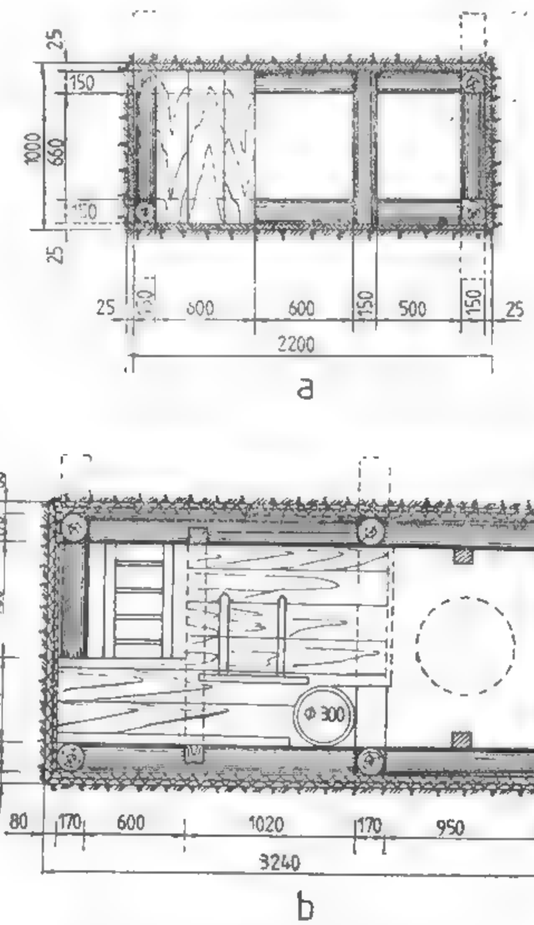


Fig. XI.14. Puțuri de mînă:

a — P1L cu secțiunea de 2,20 m²; *b* — P3L cu secțiunea de 5,50 m².

mea acestora: 2,20 m² (fig. XI.14, *a*) pentru adîncimi pînă la 5 m, 3,60 m² (1 450 × 2 450 mm) pentru adîncimi de 5—15 m și 5,50 m² (fig. XI.14, *b*) pentru adîncimi de 15—30 m. În toate cazurile puțurile de mînă se susțin în lemn și se compartimentează, unul din cele două compartimente fiind amenajat cu poduri și scări pentru circulație.

Săparea puțurilor de mînă se face la început cu unelte obișnuite (tîrnăcop, cazma, lopată), pentru îndepărtarea solului și traversarea rocilor moi, după care pentru traversarea rocilor tari și foarte tari se folosesc găuri de mină și explozivi.

Evacuarea materialului pentru adîncimi mici, pînă la 2—2,5 m, se face direct, prin lopătare. De la adîncimi mai mari de 2,5 m, evacuarea materialului excavat din

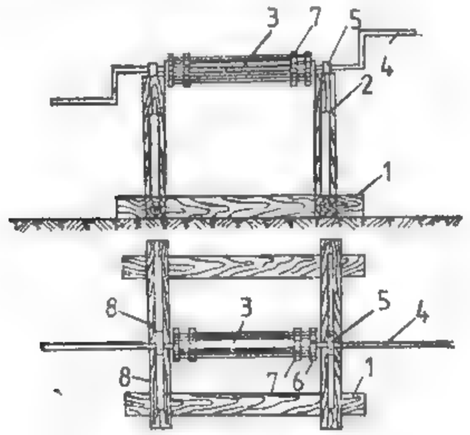


Fig. XI.15. Crivac:

1 — cadru de lemn; *2* — stîlp; *3* — tobă pentru înfășurarea cablului; *4* — manivelă; *5* — lagăr; *6* — dispozitiv de frînare; *7*—cerc metalic; *8* — stîlpi înclinați.

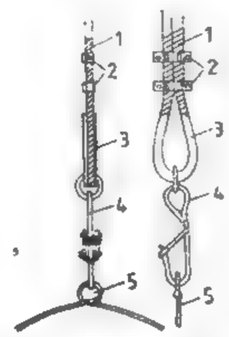


Fig. XI.16. Modul de legare a chiblei la cablul de extracție:

1 — cablu; *2*—eclise de strîngere; *3* — inimă de oțel; *4* — cîrlig; *5* — toarta chiblei.

puț se face cu găleata sau se aruncă treptat pe poduri intermediare. Dacă puțul depășește adîncimea de 5 m, materialul se scoate cu ajutorul unui *troliu de mînă* sau *crivac* (fig. XI.15) și a unei găleți sau *chible*. Chibla este confecționată din lemn sau din tablă obișnuită întărită cu cercuri de oțel lat și este prevăzută cu un mîner (toartă) din oțel rotund. Are o formă cilindrică sau tronconică cu diametrul inferior de 0,25—0,35 m, diametrul superior de 0,35—0,40 m și înălțimea de 0,40—0,50 m.

Pentru ridicarea chiblei se folosesc cabluri de cînepă (Ø = 20—25 mm) sau de oțel (Ø = 6 mm). Legarea cablului la toarta chiblei se face ca în fig. XI.16.

Susținerea puțurilor de mînă se face, de la caz la caz, cu cadre din lemn rotund sau ecarisat și căptușeală de scînduri sau lăturoaie, așezate în spatele cadrelor de susținere. Cadrele se așază în cîmpuri, la intervale de 1 — 1,5 m, sau în desiș. Susținerea se face de jos în sus, pe tronsoane de 2 m. La baza fiecărui tronson se așază un cadru de sprijin numit *tropan*, care are fixate în pereții puțului capetele a două grinzi opuse. Cadrul de sprijin susține cadrele de susținere de deasupra, pînă la cadrul de sprijin următor.

Cînd susținerea se face în cîmpuri, între cadre se așează stîlpi (popi) în cele patru colțuri.

Îmbinarea grinzilor cadrelor se face în prag sau coadă de rîndunică. Circulația se face pe scări fixate pe poduri cînd puțul de mînă are adîncimi mai mari, sau mobile pentru adîncimi mici.

Podurile se așază pe cadrele de sprijin (tropane) și au deschideri (ferestre) de trecere de 600—700 mm.

Aerajul se face prin difuzie sau prin agitarea aerului cu chibla în mișcare. Pentru adîncimi mai mari se folosesc suflaiuri sau paravane de vînt construite din tablă, scînduri sau foi de cort.

Evacuarea apei se face cu ajutorul chiblei, dacă debitul de apă este mai mic de 6 l/min, iar la debite de pînă la 5 m³/h, evacuarea se face cu pompe de mînă.

Săparea și susținerea se face de către echipe de mineri, pe baza unui grafic de execuție a lucrării. Norma de lucru se fixează în m³/post pentru evacuare și separat pentru susținere.

Documentarea geologică a puțurilor de mînă. La fel ca și în cazul explorării cu șanțuri, documentarea puțurilor de mînă este o operație foarte importantă, care începe odată cu săparea puțurilor sau se poate executa și după săpare, dar înainte de susținere. Urmărirea săpării puțului de mînă de către un geolog dă posibilitatea luării unor decizii privind continuarea sau sistarea executării lui la momentul oportun.

Documentarea puțurilor de mînă cuprinde următoarele etape:

Ridicarea topografică reprezintă o operație importantă din cadrul documentării și cuprinde:

— stabilirea coordonatelor locației;
— măsurarea adîncimii (determinarea cotei vetrei);
— stabilirea verticalității puțului;
— măsurarea adîncimii corpului de substanță minerală utilă față de suprafață;
— stabilirea adîncimii schimbărilor de litologie etc.

Operația de ridicare topografică se poate face de către geolog sau de către topograf, urmînd ca datele obținute să fie trecute atît pe planurile de situație (scara 1: 1 000; 1: 2 000 sau 1: 10 000) cît și pe restul de documente geologice (secțiuni, hărți cu izobate etc.).

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren pe măsură ce se execută puțul de mînă și cuprinde, la fel ca în cazul șanțurilor, două etape principale: *cartarea desfășurată* și *descrierea geologică* a puțului de mînă.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1: 50, 1: 100; 1: 200 și 1: 500 (rar). În mod obligatoriu se cartează pereții și vatra puțului de mînă (fig. XI.17).

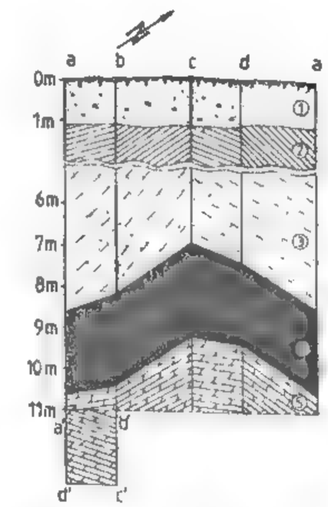


Fig. XI.17. Cartarea desfășurată a unui puț de mînă cu profil dreptunghiular:

1 — sol; *2* — argile; *3* — nisip argilos; *4* — cărbune; *5* — marnă.

Pe planul desfășurat se trec:

— orientarea unuia dintre pereți sau orientarea unui diametru (în cazul puțurilor de profil circular);
— scara grafică verticală;
— dimensiunile puțului;
— elementele de așezare a corpului de substanță minerală utilă;
— elementele structurale;
— elementele geologice (mineralogice, petrografice, paleontologice etc.);
— elementele hidrogeologice;
— porțiunile de detaliere;
— locurile de prelevare a probelor etc.

Descrierea geologică a puțurilor de mină se face în continuarea porțiunii cartate desfășurat și cuprinde:

— numărul și denumirea puțului;
— orientarea puțului;
— amplasarea puțului (distanța pînă la reperele topografice, coordonatele locației etc.);
— data începerii și terminarea puțului;
— dimensiunile puțului;
— observații de ordin geologic, la fel ca și la șanțuri, care nu se pot menționa pe desfășurată ca urmare a scării alese;
— observațiile de ordin hidrogeologic;
— descrierea porțiunilor detaliate;
— descrierea tipurilor de probe și a locurilor de prelevare etc.

Se recomandă, atît în cazul cartării desfășurate, cît și al descrierii puțurilor, ca înainte de abandonare să se mai facă încă o verificare pentru a nu scăpa o serie de detalii.

Probarea substanței minerale utile în puțurile de mină se face respectînd toate condițiile probării. Se prelevează probe mineralogice, petrografice, chimice și tehnologice (pentru faza de laborator și pilot).

Probele mineralogice și petrografice se prelevează prin metoda eșantionării, pe tipuri petrografice sau pe sorturi.

Probele chimice se recoltează prin metoda brazdelor amplasate pe unul din pereți, după grosimea normală (zăcăminte cu înclianre mică și orizontale), cînd aceasta se încadrează pe peretele puțului sau după grosimea aparentă verticală. În cazul unei variații foarte mari a conținutului în componenți utili se probează doi pereți opuși, în final făcîndus-e media conținutulrilor.

Probele tehnologice se recoltează prin răzuirea pereților puțului sau prin reprofilarea puțului.

Metodica probării substanței minerale utile în puțuri este tratată în secțiunea XII.

Determinarea elementelor spațiale a corpului de substanță utilă presupune determinarea: direcției, înclinării și a grosimii reale (normale).

Direcția și înclinarea se pot măsura *direct* cu busola pe fața de strat (la fel ca în cazul deschiderilor naturale), pe măsură ce se sapă puțul, sau cu busola aplicată pe dispozitivul cruce (procedeul fiind asemănător ca în cazul șanțurilor), s-au se poate determina *indirect* prin metoda desfășuratei și metoda proiecției cotate.

Determinarea direcției și înclinării pe baza elementelor obținute din cartarea desfășurată (metoda desfășuratei) presupune metarializarea pe desfășurată a unei intersecții a unui plan din cadrul zăcămîntului (planul culcușului, acoperișului sau a planului median) cu pereții puțului (fig. XI.18). Dreapta $\overline{AA'}$ reprezintă intersecția dintre un plan orizontal și planul pereților puțului (rabatați în plan vertical); punctele A, B, C, D, A' reprezintă intersecția planului zăcămîntului cu muchiile a,b,c,d,a' punctul N este locul de intersecție a urmei planului $(ABCDA')$ cu dreapta $\overline{AA'}$; O reprezintă intersecția dreptei $\overline{AA'}$ cu muchia b.

Prin rabaterea segmentului ON pe muchia b $(ON = ON')$ și unirea punctului N' cu A obținem segmentul AN', care reprezintă direcția stratului rabatată în plan vertical (intersecția planului orizontal cu planul stratului). Pentru aflarea azimutului direcției corpului de substanță minerală utilă se adună azimutul peretelui $aba'b'$ (δ) cu unghiul δ_1 (unghiul dintre direcția stratului și peretele ab).

Înclinarea (α) se determină ducînd din punctul O perpendiculara $\overline{OM}$ $(\overline{OM} \perp AN')$, care reprezintă proiecția liniei de cea mai mare pantă în plan orizontal (în rabatere), după care printr-o mișcare de rabatere ducem segmentul $\overline{OM}$ pe dreapta $\overline{AA'}$ $(\overline{OM} = \overline{OM'})$; unind punctul M' cu B se obține dreapta $\overline{M'B}$ reprezentînd linia de cea mai mare pantă rabatată în planul $aba'b'$, iar unghiul α este unghiul real al înclinării stratului.

În cazul în care se cunosc coordonatele unui punct al stratului (punctul în care o muchie intersectează planul stratului) prin care trec două trepte conținute în planul stratului (respectiv urma stratului pe doi pereți adiacenți unei muchii) — fig. XI.19 — se poate determina direcția și înclinarea folosind *metoda proiecției cotate* (metoda grafică).

În această figură, un puț vertical, de profil dreptunghiular, intersectează acoperișul stratului în punctul A (x_1, y_1, z_1), iar în pereți $a-b$ și $a-d$ avem urma acoperișului stratului, respectiv dreptele Δ_1 (δ_1, α_1) și Δ_2 (δ_2, α_2). Direcțiile $(\delta_1$ și $\delta_2)$ și înclinările $(\alpha_1$ și $\alpha_2)$ se pot obține prin măsurare directă cu busola geologică, iar coordonatele punctului A se pot determina în funcție de coordonatele locației puțului.

Pentru determinarea azimutului direcției stratului (β) și unghiului de înclinare α într-un sistem de axe de coordonate xOy se reprezintă punctul A și dreptele Δ_1 și Δ_2 (fig. XI.20), prin azimutele direcțiilor lor (direcțiile δ_1 și δ_2). Cu ajutorul unghiurilor

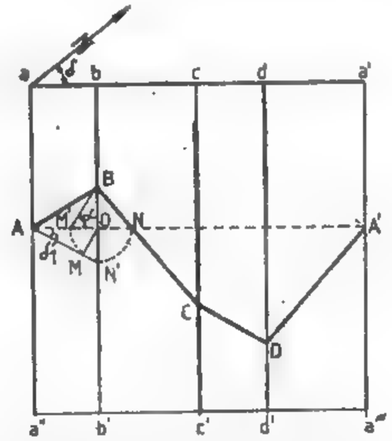


Fig. XI.18. Determinarea direcției și înclinării unui corp de substanță minerală utilă intersectat de un puț, prin metoda desfășuratei.

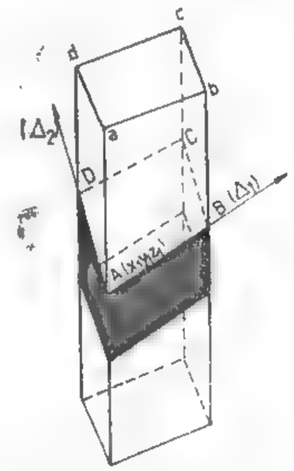


Fig. XI.19. Puț de explorare care intersectează un strat de cărbune.

de înclinare α_1 și α_2 ale celor două drepte se gradează proiecțiile Δ_1 și Δ_2, începînd din punctul A (fig. XI.21). Se determină punctele de aceeași cotă $(z_2 < z_1)$, pe cele două drepte $(\overline{AM}$ și $\overline{AN})$, care prin unire ne dau dreapta $\overline{MN}$, dreaptă orizontală a planului stratului (direcția), iar azimutul acestei drepte este chiar azimutul direcției stratului (β).

Pentru determinarea unghiului de înclinare, din punctul A se duce o perpendiculară pe direcția (MN) pînă în punctul E (fig. XI.20); dreapta AE reprezintă pro-

iecția liniei de cea mai mare pantă într-un plan orizontal. Tot din punctul A se duce segmentul $\overline{A \cdot F} = z_1 - z_2$ perpendicular pe segmentul $\overline{AE}$, și unind punctul F cu E se obține linia de cea mai mare pantă a stratului în mărime reală (FE), rabatată în ju-

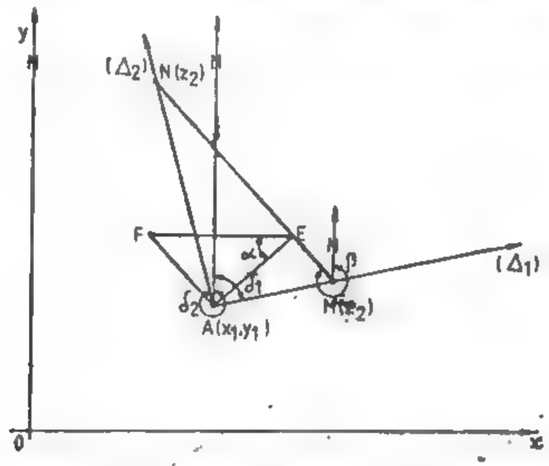


Fig. XI.20. Determinarea direcției și înclinării unui zăcămînt sub formă de strat, cunoscînd direcțiile și înclinările a două drepte din planul zăcămîntului.

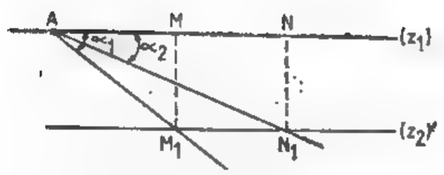


Fig. XI.21. Cotarea (gradarea) a două drepte în spațiu.

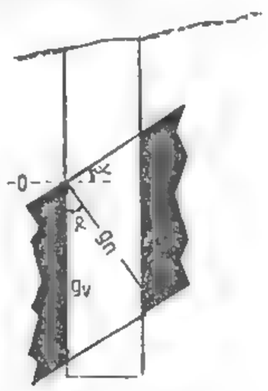


Fig. XI.22. Determinarea grosimii normale (g_n) în cazul unui puț.

rul segmentului AE: unghiul α reprezintă unghiul de cea mai mare pantă în mărime reală.

G r o s i m e a n o r m a l ă a unui corp de substanță minerală utilă se poate obține prin măsurare directă, în cazul în care aceasta se încadrează pe unul din pereții puțului, sau se poate determina în funcție de grosimea verticală (g_v) și de unghiul de înclinare a stratului după formula: $g_n = g_v \cos \alpha$ (fig. XI.22).

Abandonarea puțurilor de mină. Abandonarea puțurilor de mină, la fel ca și în cazul șanțurilor, este o operație căreia trebuie să i se acorde multă importanță și presupune următoarele faze:

— recuperarea materialului de susținere (parțial sau total);

— rambleierea cu materialul excavat, urmărindu-se evitarea formării golurilor subterane;

— împrejmuirea locului;

— verificarea modului de tasare, iar dacă este cazul trebuie intervenit pentru completarea cu material excavat.

2.2.3. PUȚURI DE EXPLORARE

Puțurile de explorare sînt lucrări miniere verticale cu adîncimi și secțiuni mai mari decît ale puțurilor de mină. De regulă, ele fac legătura dintre orizontul de explorare de bază și lucrările miniere pentru explorarea extinderii zăcămîntului în adîncime și necesită o organizare mai detaliată a lucrărilor de execuție.

Obiective urmărite. Cu puțurile de explorare se construiește baza rețelei de lucrări miniere subterane pentru explorarea extinderii (amănunțită) a zăcămîntului în adîncime, stabilirea succesiunii stratigrafice și cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare.

Forma și dimensiunile puțurilor de explorare. După adîncimea la care se execută și după secțiunea puțului se disting:

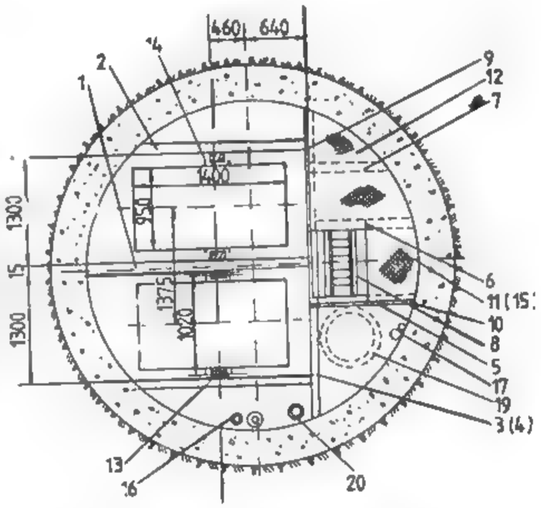


Fig. XI.23. Puț de explorare circular P4Bc— O 4,0 m, susținut în beton:

1 — moază centrală; *2* — moază laterală; *3* — moază transversală la pod; *4* — moază transversală; *5—6* cornier pentru pod și scară; *7* — cornier pentru pod; *8* — scară metalică; *9* — panou despărțitor lateral; *10* — panou despărțitor frontal; *11, 12* și *15* — tablă striată pentru pod; *13* — ghidaje; *14* — cornier pentru îmbinarea ghidajelor; *16* — țevi pentru aer comprimat și apă; *17* — cabluri electrice; *18* — beton pentru pereți; *19* — burlan de aeraj; *20* — conductă pentru evacuarea apei.

— puțuri de mică adîncime, pînă la maximum 50—80 m, cu secțiune compartimentată — un compartiment pentru extracție și unul pentru circulație;

— puțuri de mare adîncime, peste 80—100 m, adîncimea maximă variind de la caz la caz, cu secțiunea compartimentată — 2 sau 3 compartimente.

Puțurile de explorare a căror adîncime depășește 80—100 m se sapă cu profil circular avînd diametrul de 4 m, 4,4 m sau 5 m (fig. XI.23), în funcție de adîncimea

proiectată (v. tabelul XI.2). Ele se susțin cu beton, grosimea pereților plus umplutura variind, în funcție de tăria rocilor, de la 250 + 100 mm în roci ET și FT la 300 + + 100 mm în roci T și 300 + 100 sau 350 + 100 m în roci ST și M.

Gabaritul puțurilor se stabilește ținînd seama de următorii factori: adîncimea maximă a puțului, natura rocilor prin care se sapă, utilajul folosit, condițiile hidrogeologice, capacitatea de extracție, cantitatea și dimensiunile materialelor necesare lucrărilor de explorare în continuare, felul susținerii pereților puțurilor, sistemul de aeraj și de evacuare a apelor, posibilitățile de folosire a puțului pentru viitoarea exploatare.

Amplasarea puțurilor de explorare. Puțurile de explorare reprezintă o lucrare costisitoare și greu de executat. De aceea, amplasamentele lor, mai ales dacă se sapă de la suprafață, se aleg cu grijă, ținîndu-se seama de: topografia locului, natura rocilor, poziția puțului față de zăcămînt, alegerea celei mai scurte căi pînă la zăcămînt, suprafața necesară pentru amplasarea haldelor.

De multe ori, puțul de explorare se amplasează în afara corpului de zăcămînt, pentru asigurarea stabilității sale și pentru a nu imobiliza o cantitate de rezerve în piciorul de siguranță al puțului. De obicei, puțul, ca și lucrările orizontale cu o durată mai mare, se amplasează în culcușul zăcămîntului.

Gura puțului nu trebuie amplasată în zone expuse inundațiilor sau în terenuri nestabile.

În sectorul în care se amplasează puțul se face o ridicare topografică cu indicarea curbelor de nivel din 0,25 în 0,25 m pe o rază de 150 m, din 0,5 în 0,5 m pînă la o rază de 250 m, și din 1,00 în 1,00 m pînă la 500 m.

Săparea puțurilor de explorare. Săparea se execută prin metode obișnuite, utilizînd unelte manuale și utilaje mecanice.

Pentru săparea puțurilor de explorare la adîncimi mai mari de 50 m și cu secțiunea de săpare mai mare de 6 m², sînt necesare următoarele instalații și utilaje: turnul de săpare și mașina de extracție, instalațiile de aer comprimat, stația de ventilatoare, pompele pentru evacuarea apelor și atelierul mecanic.

Turnul de săpare al puțului poate fi construit din lemn sau din metal și se așază deasupra gurii puțului.

Dimensiunile și felul construcției gurii puțului sînt determinate de solicitările provocate de construcțiile care se sprijină pe gura puțului și de presiunile laterale ale terenului din jurul gurii puțului.

În mod obișnuit puțul se sapă mai întîi prin rocile alterate aflate la suprafață, pînă la rocile de bază. Pe această porțiune, pereții gurii puțului, care formează *gulerul*, se susțin provizoriu. După ce s-a ajuns în rocile de bază, se zidește un picior și apoi se execută susținerea definitivă a gurii puțului, cu beton.

După construirea gurii puțului se trece la construirea turnului de extracție. Sînt și cazuri mai rare, cînd se construiește întîi turnul de extracție provizoriu sau definitiv prevăzut cu troliu pentru săpare și apoi se sapă și se susține gura puțului. Acest procedeu poate pune însă în pericol turnul de extracție prin lucrările de explodare (împușcare).

Turnul de săpare susține, la partea sa superioară, roțile de ghidare (moletele) a cablurilor de extracție. El servește totodată pentru susținerea cablurilor, pentru suspendarea pompelor, pentru fixarea cablurilor de ghidare a chiblei, la montarea platformei de descărcare a chiblei. Turnul are forma unui trunchi de piramidă cu înălțimea de 6—10 m și este prevăzut cu trei platforme sau poduri: una superioară — *pentru molete*, a doua așezată la 3 m deasupra gurii puțului — *platforma de descărcare*, și a treia așezată la nivelul gurii puțului — *platforma de încărcare*. Pe aceasta din urmă se așază plăci metalice și liniile de cale ferată pentru transportul vagonetelor încărcate

cu materiale ce se introduc în puț. Elementele constructive ale turnului de săpare constau din stîlpi, grinzi și contrafișe. Cînd acestea sînt din lemn se consolidează prin buloane și șuruburi.

Mașina de extracție pentru săpare constă dintr-un troliu cu unul sau doi tamburi și cu dispozitiv de frînare. Ea se așază lateral, la o distanță între axa puțului și axa mașinii de extracție, astfel calculată, ca unghiul de înclinare a cablului să fie de 45—60°.

În funcție de tăria rocilor și afluența de apă, săparea se face prin metode obișnuite sau prin metode speciale.

Metoda obișnuită de săpare constă în excavarea și evacuarea rocii. În roci tari și foarte tari, excavarea se face cu ajutorul explozivilor, iar în roci moi cu ajutorul uneltelor manuale sau a utilajelor mecanice. În primul caz, după ce s-a stabilit numărul, adîncimea găurilor de mină și cantitatea de exploziv la un salt, se plasează găurile de mină. Plasarea găurilor de mină depinde de: forma secțiunii puțului, tăria, inclinarea și stratificația rocilor, tipul explozivilor folosiți etc.

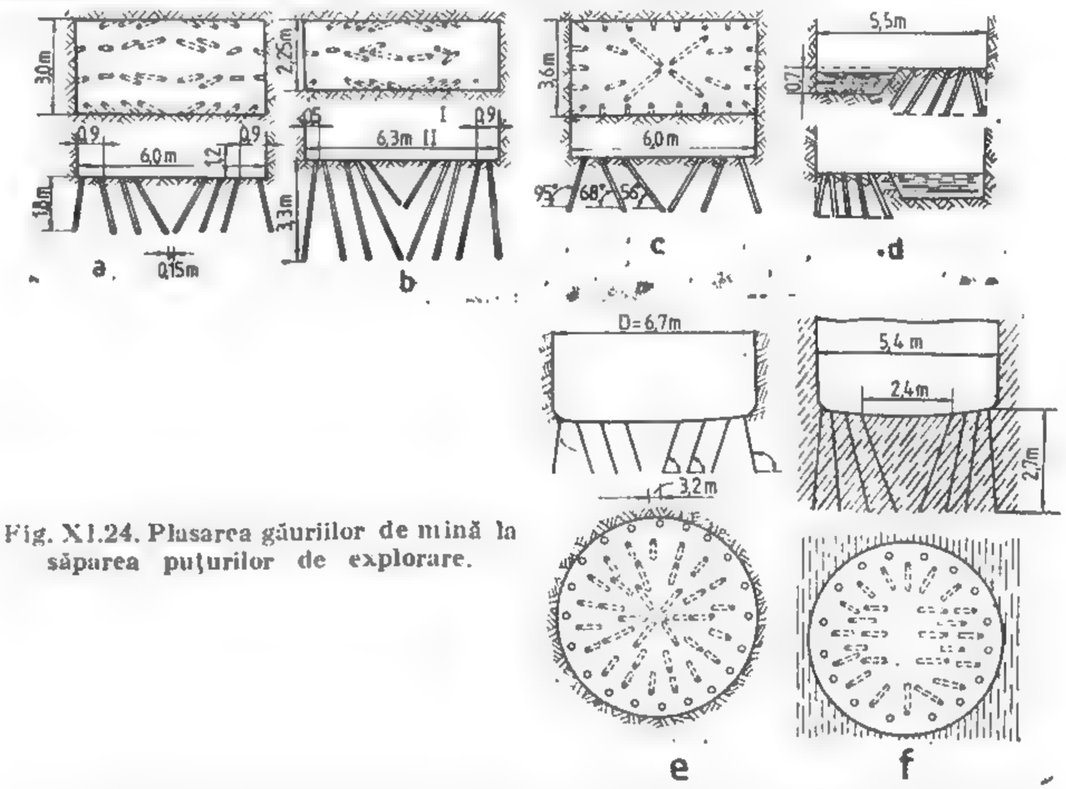


Fig. XI.24. Plasarea găurilor de mină la săparea puțurilor de explorare.

Ca și în cazul galeriilor, se folosesc găuri: de sîmbure, de lărgire și de profilare.

Schemele cele mai obișnuite de plasare a găurilor de sîmbure la săparea puțurilor dreptunghiulare sînt: sîmbure în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, *a*) în cazul rocilor de tărie mare și medie, sîmburele în formă de *pană centrală dublă* (fig. XI.24, *b*) utilizat în roci foarte tari, sîmburele în formă de *piramidă centrală* (fig. XI.24, *c*) folosit în roci tari și sîmburele în formă de *pană laterală* (fig. XI.24, *d*) folosit în roci șistoase.

La săparea puțurilor circulare, găurile se plasează în mai multe cercuri concentrice avînd înclinări diferite (fig. XI.24, *e*); în cazul rocilor șistoase se obțin rezultate bune utilizînd simburele în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, *f*).

Adîncimea găurilor este în mod obișnuit de 1,5—2 m. Utilajele de perforare a găurilor constau din perforatoare pneumatice, furtunuri, sfredele și accesorii.

Evacuarea rocii rezultată în urma împușcării se face cu chibla care se încarcă cu ajutorul graifărului (fig.XI.25).

Pentru aerisirea frontului de lucru în timpul săpării se folosesc două sisteme de aeraj, ca și în cazul săpării galeriilor: aerajul aspirant și aerajul refulant.

Aerajul refulant este indicat datorită avantajelor pe care le prezintă față de sistemul aspirant, și anume: favorizează circulația normală pe puț a gazelor de explozie, ajută amestecarea mai intensă a gazelor nocive și evacuarea mai bună a aerului viciat, introduce în puț aer uscat. Distanța (l) de la tuburile de aeraj pînă la frontul de lucru se determină cu relațiile:

— pentru aerajul aspirant

$$l = 3\sqrt{S} \quad [\mathrm{m}];$$

— pentru aerajul refulant

$$l = 6\sqrt{S} \quad [\mathrm{m}]$$

în care S este secțiunea de săpare a puțului, în m².

Instalația de aeraj cuprinde: ventilatorul, tuburile de aeraj și ușile care acoperă gura puțului. Ventilatoarele sînt tubulare și sînt acționate de un motor electric de 7,5 kW. Tuburile de aeraj sînt din tablă zincată cu diametrul de 300—400 mm și lungimea de 2 m, pentru îmbinare fiind prevăzute cu fanșe fixe. Instalația de producere și transport a aerului comprimat cuprinde compresoarele, rezervoarele-tampon, conductele de aer comprimat și accesorii.

Instalația de evacuare a apei constă din una sau două pompe cu piston — acționate pneumatic, sau centrifugale — acționate electric.

Susținerea puțurilor de explorare. La adîncimi care nu depășesc 40—50 m, în cazul rocilor tari și foarte tari, puțurile nu se susțin, însă se prevăd cu cadre pentru compartimentare și amenajare cu poduri și scări de circulație. Aceste cadre se așază la intervale de 2—6 m; grinzile (tropanul) se încastrează în pereții puțului.

În roci semitari puțurile se susțin cu cadre de lemn rotund sau ecarisat cu diametrul de 15—25 cm, îmbinate în prag drept sau în coadă de rîndunică și așezate în cîmpuri, la intervale de 0,5—1,5 m. Între două cadre, la colțuri, se așază stîlpi (popi). În cazul presiunilor mari, cadrele de susținere se așază în desiș, adică unul peste altul și se sprijină la anumite intervale pe tropane (cadrul purtător).

Susținerea în lemn se execută în mod obișnuit pe tronsoane, concomitent cu săparea, după ce puțul a fost săpat 2—6 m.

Viteza de execuție a susținerii în desiș este de 3—4 m/24 ore, iar în cîmpuri de 4—6 m/24 ore.

În timpul așezării cadrelor se face verificarea orizontabilității cadrelor cu ajutorul echerului cu fir cu plumb sau cu nivela.

Verificarea verticalității se face cu patru fire cu plumb suspendate în colțurile puțurilor. Pe măsura adîncirii puțului se montează și ghidajele. Acestea se fac din grinzi de lemn de brad sau pin, lungi de 4—8 m, cu secțiunea de 10 × 10 cm sau 15 × 20 cm.

Susținerea puțurilor de explorare care depășesc 40—50 m adîncime se face în beton, în sens descendent, în tronsoane de cîte 7 m, adică la nivelul unui picior de

sprijin și se execută concomitent cu săparea puțului, cu ajutorul cofrajelor glisante metalice (fig. XI.25). Susținerea se montează în imediata apropiere a frontului de lucru, pe tronsoane scurte, sensul de betonare a puțului este descendent, iar fiecare tronson se betonează ascendent, tehnologia operațiilor executîndu-se în ordine succesivă. Operația de betonare se desfășoară sub protecția unui pod.

Lucrările de amenajare cu moaze a puțului se fac de la nivelul platformei superioare a podului, pe platforma inferioară fiind așezate troliile de suspendare a graifărului de încărcare a materialului rezultat de la împușcare. Ambele platforme sînt prevăzute cu orificii tubate pentru trecerea chiblelor, a conductei de aeraj, a țevilor de aer comprimat și a conductelor prin care se introduce betonul.

Betonul se prepară la gura puțului, într-o instalație care se compune dintr-un siloz pentru pietriș și unul pentru nisip, betoniere, dozatoare, un elevator și o bandă pentru transportul cimentului cu clorură de calciu dizolvată. Dozarea materialelor pentru prepararea betonului se face volumetric.

Susținerea puțurilor în beton realizată cu ajutorul cofrajelor glisante are avantajul obținerii unor viteze mari de lucru, și reducerii substanțiale a costurilor.

Documentarea geologică se face ca și în cazul puțurilor de mină, cu mențiunea că se insistă foarte mult pe probare, în vederea stabilirii caracteristicilor fizico-mecanice ale rocilor în care se sapă.

Un puț de explorare poate deveni în fază de exploatare puț de aeraj, de rambleu sau chiar de extracție.

În cazurile cînd nu pot fi folosite în faza următoare a exploatării, puțurile se părăsesc rambleindu-se, după recuperarea materialelor de susținere și a utilajelor cu care au fost dotate.

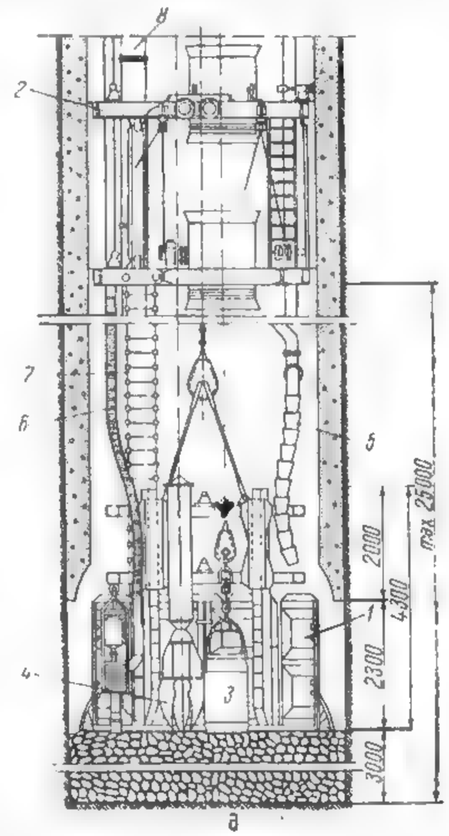


Fig. XI.25. Betonarea puțului concomitent cu săparea:

1 — cofraj glisant; *2* — pod de protecție; *3* — chiblă; *4* — graifăr; *5* — conductă flexibilă; *6* — furtun de aer comprimat; *7* — scară mobilă; *8* — conductă de aeraj.

2.2.4. GALERII DE EXPLORARE

Sînt lucrări miniere orizontale săpate în zăcămînt sau în rocile înconjurătoare, plecînd de la suprafață, sau din subteran, de la o altă lucrare de explorare. Din ele se sapă lucrările miniere de explorare pe înclinarea zăcămîntului — suitori, coborîtori, plane înclinate.

Obiective urmărite. Prin galeriile de explorare se urmărește cercetarea zăcămîntului pe direcție sau transversal pe direcția acestuia, pentru a determina: elementele

lui geometrice și de poziție și variațiile acestora, calitățile substanței minerale utile, accidentele tectonice și natura rocilor înconjurătoare.

Amplasarea galeriilor de explorare. Cînd zăcămîntul este localizat în terenuri accidentate, explorarea lui se face prin galerii, urmărindu-se cercetarea lui la diferite nivele.

După direcția față de zăcămîntul urmărit, galeriile de explorare se împart în: galerii *transversale* și galerii *direcționale*.

Atît galeriile transversale cît și cele direcționale pot fi executate de la zi, sau din alte lucrări subterane (puțuri, plane înclinate etc.).

Galeriile transversale se execută de obicei în steril și au ca scop intersectarea corpurilor de minereu. Galeriile direcționale se execută de obicei în zăcămînt și urmăresc deschiderea acestuia pe direcție (fig. XI.26).

Galeriile transversale sau direcționale, cînd sînt începute la zi, poartă denumirea de *galerii de coastă*.

În cazul galeriilor direcționale, cînd grosimea zăcămîntului este mai mare decît secțiunea galeriei, aceasta se sapă pe lîngă peretele cel mai stabil, de obicei în culcușul zăcămîntului. Cînd zăcămîntul este neregulat, sau are infiltrații puternice de apă, galeria direcțională se execută la o oarecare distanță de zăcămînt, iar din

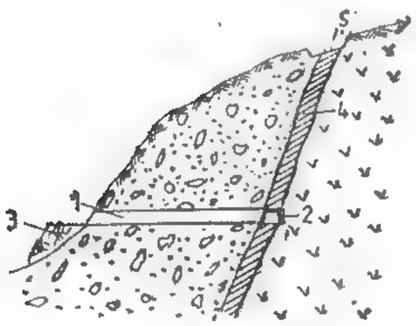


Fig. XI.26. Explorarea unui zăcămînt de formă tubulară, situat într-un teren accidentat, prin galerii:

1 — galerie transversală de coastă; *2* — galerie direcțională în zăcămînt; *3* — haldă; *4* — filon; *5* — șanț de prospecțiune sau de explorare.

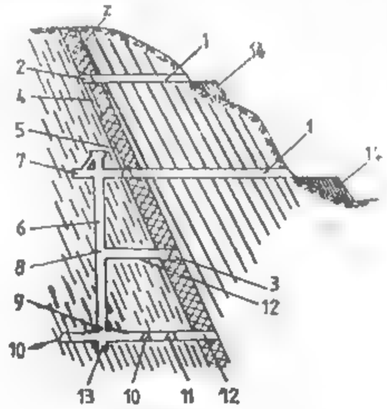


Fig. XI.27. Explorarea unui zăcămînt de formă tabulară prin lucrări miniere combinate:

Z — zăcămînt; *1* — galerie de coastă; *2* — direcțională pe culcuș; *3* — direcțională de acoperiș; *4* — coborîtoare; *5* — suitoare; *6* — puț orb; *7* — camera troliului; *8* — rampă simplă; *9* — rampă dublă; *10* — galerie de ocol; *11* — direcțională în culcuș; *12* — transversală principală; *13* — jomp.; *14* — haldă.

aceasta la echidistanța de 25—50 m, din loc în loc, se sapă galerii transversale scurte (nișe), care traversează zăcămîntul pe grosime.

Pentru cercetarea zăcămîntului în adîncime, cînd acesta nu mai poate fi deschis la nivelele respective prin galerii de coastă, se sapă un puț orb sau de la zi de explorare, în culcușul zăcămîntului, din care se continuă explorarea acestuia prin galerii transversale și direcționale (fig. XI.27).

Forma și dimensiunile galeriilor de explorare. Profilul galeriilor poate să fie: trapezoidal (fig. XI.28), boltit, sub formă de potcoavă, circular, în funcție de natura rocilor și felul susținerii.

După secțiune (v. tabelul XI.2), galeriile de explorare se pot împărți în trei categorii:

— galerii cu secțiune mică, de 2,30—5,60 m²;

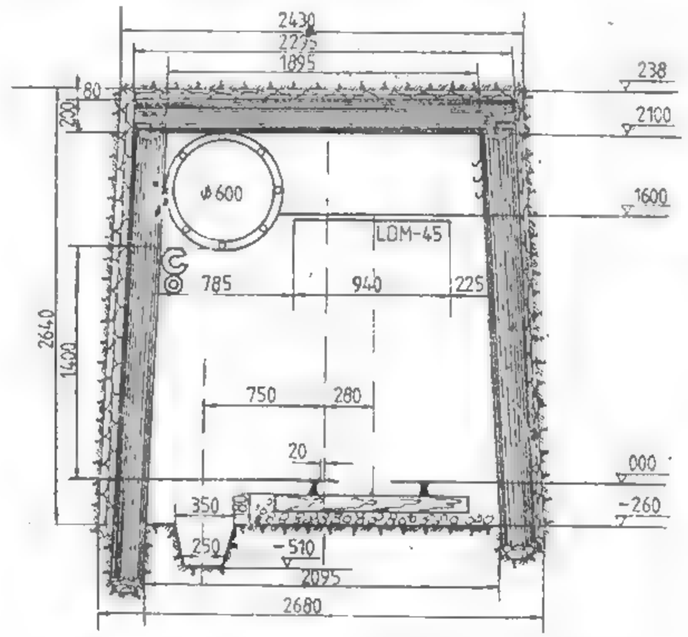


Fig. XI.28. Galerie de explorare G4L — 6,80 m², cu profil trapezoidal, susținută în lemn.

— galerii cu secțiune mijlocie, de 6,20—9,30 m²;

— galerii cu secțiune mare (duble), de 9,40—18,30 m²

Galeriile din ultimele două categorii se execută în cazurile cînd acestea au lungimi de peste 500 m și se prevede folosirea lor și în lucrările de exploatare.

După natura formațiunilor geologice în care se sapă, galeriile pot fi susținute și nesusținute.

Alegerea profilului de săpare a galeriilor de explorare. Factorii principali care determină aegerea profilului de săpare a unei galerii sînt:

— volumul transportului;

— gabaritul (dimensiunile maxime) locomotivelor și al vagonetelor cu care urmează să se facă transportul;

— aerajul lucrărilor miniere;

— modul de susținere;

— gabaritul celor mai mari piese din mașinile ce urmează a se monta în subteran;

— viteza de săpare a galeriei respective;

— normele de tehnica securității muncii.

Calculul secțiunilor transversale ale galeriilor se face în funcție de forma profilului.

Pentru galerii de explorare s-au elaborat *proiecte tip* care se deosebesc prin forma, mărimea secțiunii și felul susținerii galeriilor etc. Aceste proiecte tip prezintă o mare importanță, prin faptul că în prezent toate lucrările miniere respectă aceleași principii, ceea ce face posibilă standardizarea mijloacelor de transport; experiența obținută la un șantier sau la o mină, la săparea galeriilor, poate fi extinsă la toate celelalte etc.

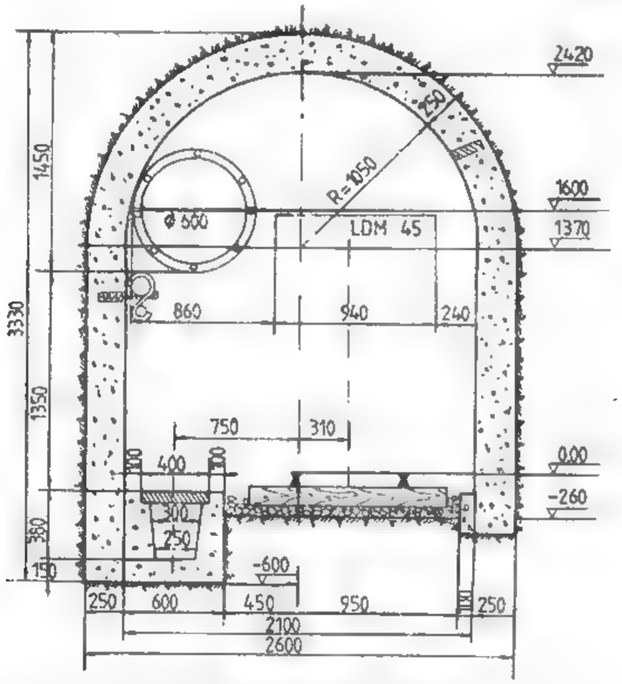


Fig. XI.29. Galerie de explorare (G5B—7,30 m², cu profil boltit, susținută în beton.

Din examinarea profilelor tip (fig. XI.28, XI.29 și XI.30) se constată următoarele elemente comune:

— Ecartamentul prevăzut pentru toate galeriile este de 600 mm, 630 mm și 750 mm, în funcție de capacitatea vagonetelor și a locomotivelor.

— Distanța între vagonete sau locomotivă și peretele galeriei pe partea unde nu circulă personalul este de 200 mm la galeriile nesusținute și la cele susținute cu bolțari sau în beton. În galeriile susținute în lemn această distanță este de 250 mm.

— Distanța dintre locomotivă și perete, în partea galeriei pe unde circulă personal, este de 600 mm pentru galeriile nesusținute sau zidite, prin care circulă trenuri cu o viteză mai mică de 6 km/h, și de 750 mm, pentru galeriile susținute în lemn. Pentru galeriile principale de transport, unde trenurile circulă cu viteze mai mari de 6 km/h, această distanță este de 800 mm.

— Înălțimea minimă admisă a unei galerii, de la coroana șinei la tavan, este de 2 000 mm la galeriile simple, susținute cu lemn, pe care nu se face transportul cu loco-

motive electrice cu troleu. Dacă transportul se face cu locomotive electrice cu troleu, înălțimea minimă de la coroana șinei la troleu este de 2 200 mm.

— Înclinarea pereților galeriilor cu profil trapezoidal este de 125 mm/m.

— Panta galeriilor poate varia între 2 și 6%. Dacă pe aceeași galerie se face și transport de rambleu în sens invers transportului de minereu sau de cărbuni, panta nu trebuie să depășească 2%. În ceea ce privește canalele pentru evacuarea apelor, este necesar ca viteza apei să nu fie sub 0,25—0,50 m/s și să nu depășească 1,8—

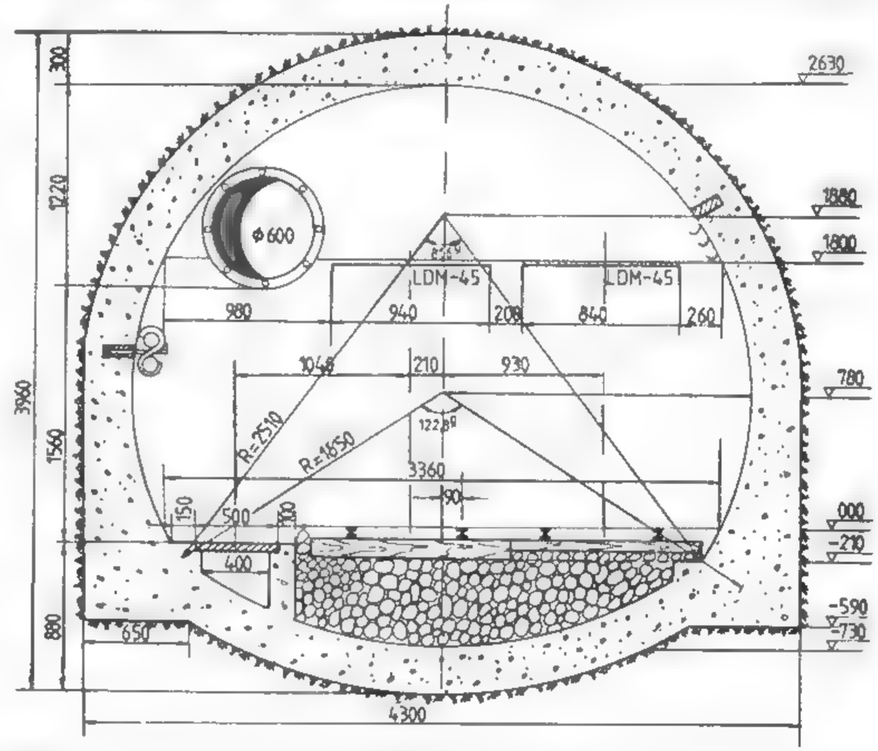


Fig. XI.30. Galerie de explorare dublă G7Bv—14,00 m², cu vatră închisă, susținută în beton.

2,5 m/s în roci moi și de tărie medie și 3,5—4,5 m/s în roci tari. Înclinarea pereților canalului poate varia între 1/2 și 1/4, după tăria rocilor.

Săparea galeriilor se face prin *metode obișnuite*, cînd rocile sînt stabile și nu există o afluență prea mare de apă, și prin metode *speciale*, în cazul rocilor nestabile, slabe și cu afluență mare de apă.

Săparea și susținerea galeriilor de explorare cu metode obișnuite. Operațiile principale ale procesului de săpare a unei galerii de explorare sînt:

— excavarea rocilor;

— încărcarea și evacuarea materialului extras;

— susținerea lucrării, cînd natura rocilor în care se sapă necesită susținere.

Operațiile secundare ce survin în procesul săpării constau în montarea conductelor de aeraj a conductelor și cablurilor electrice pentru alimentarea utilajelor din frontul de lucru cu apă, aer comprimat și energie electrică, probarea frontului de lucru, cartarea geologică și ridicarea topografică a lucrării etc.

— **Săparea.** Executarea săpării oricărei lucrări miniere se face pe baza unui *proiect de explorare* care trebuie să prevadă în mod obligatoriu: necesitatea lucrării miniere respective, amplasamentul ei în funcție de scopul urmărit și de condițiile locale, dimensiunile lucrării (formă, secțiune, lungime), alegerea procedeului de săpare și de evacuare, cu indicarea și justificarea elementelor de săpare ca: profil de săpare, alegerea utilajului și stabilirea necesarului de utilaj, organizarea desfășurării procesului săpării (componența echipei de lucru, graficele de lucru etc).

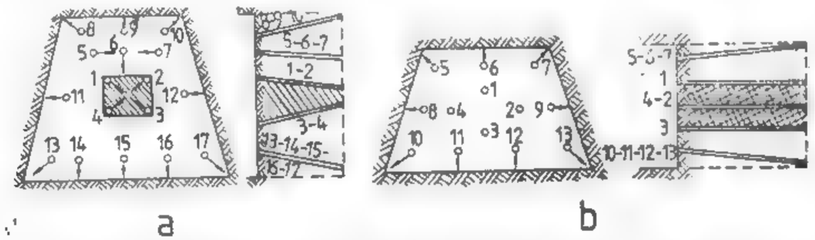


Fig. XI.31. Scheme de amplasare a găurilor în frontul galeriei:
a — cu simbure piramidal; *b* — cu simbure prismatic.

Viteza de înaintare, consumul specific, ca și alți indicatori sînt foarte mult influențați de modul cum sînt plasate găurile în front, de distanța dintre ele și de înclinarea lor.

Găurile folosite pentru realizarea unui avans al frontului de săpare al unei galerii de explorare sînt de trei feluri:

— *găuri de simbure* sau de *degajare*, care se impușcă în primul rînd și au rolul de a produce o suprafață liberă (în fig. XI.31 *a* și *b*, găurile numerotate: *1, 2, 3, 4*);

— *găuri de lărgire* care explodează după găurile de simbure și produc ruperea masivă în front, folosind suprafețele libere create de găurile de simbure (în fig. XI.31, *a*, găurile numerotate: *5, 6, 7*);

— *găuri de profilare*, care se impușcă la urmă și au rolul de a da lucrării miniere forma dorită (în fig. XI.31, *a*, găurile numerotate: *8...17*).

După direcția găurilor de mină față de suprafața frontului de săpare, se deosebesc trei tipuri principale de simburi de explodare folosiți la săparea galeriilor de explorare:

— *Simburi unilaterali.* Se caracterizează prin aceea că toate găurile de mină care conturează simburele au înclinarea în aceeași parte a frontului de săpare: lateral, spre tavan (superior) sau spre vatră (fig. XI.32).

Săparea cu simburi laterali se folosește în cazul rocilor stratificate cu înclinare mare și cînd lucrarea se execută de-a lungul contactului a două formațiuni geologice. Găurile sînt dirijate lateral, spre contactul dintre roci.

În celelalte cazuri se practică simburele unilateral superior, dacă stratificația înclină către sensul de săpare a lucrării, sau simburele unilateral inferior, cînd stratificația înclină spre frontul de lucru.

— *Simburi convergenți.* La aceștia găurile se execută convergent, de regulă cu înclinarea spre axul longitudinal al lucrării miniere (fig. XI.33). Pot fi de mai multe feluri:

— simbure *piramidal* (fig. XI. 33, *a*), frecvent folosit în roci omogene și la galerii cu secțiune mică, sub 6 m²;

— simbure *pană verticală* (fig. XI 33, *b*), folosit la săparea galeriilor cu secțiune mai mare de 6 m².

— *Simburi cilindrici.* Găurile de mină se perforează perpendicular pe suprafața frontului și sînt paralele între ele. Dintre găurile perforate, unele nu se încarcă cu exploziv (fig. XI.34) fiind *găuri pasive*, ele avînd rolul de a crea suprafețe libere pentru celelalte găuri.

După aranjamentul găurilor active și pasive, se folosesc:

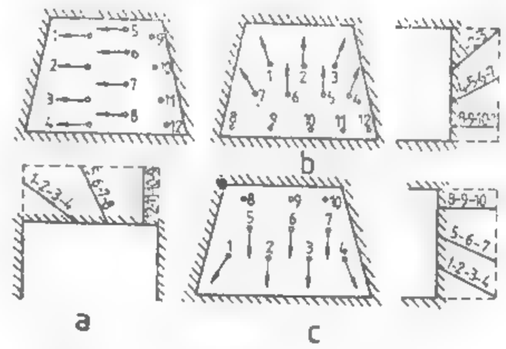


Fig. XI.32. Simburi unilaterali:
a — simbure lateral; *b* — simbure unilateral superior; *c* — simbure unilateral inferior.

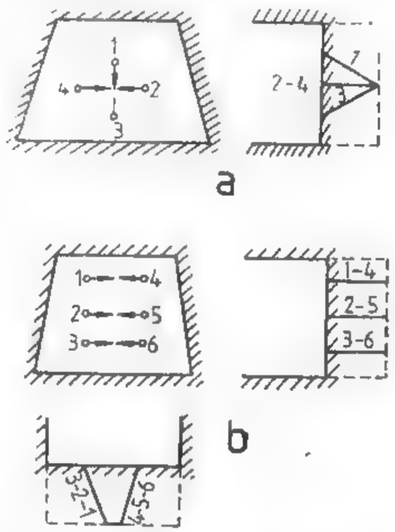


Fig. XI.33. Simburi convergenți:
a — simbure piramidal; *b* — simbure pană verticală.

— simburi *trifoi* (fig. XI.34, *a*), cu trei sau patru găuri active și una pasivă (se aplică la săparea în roci plastice sau în gresii);

— simbure *prismă* (fig. XI.34, *b*) care constă din șiruri de găuri active, alternînd cu găuri pasive, sau din găuri active și pasive ce alternează pe același șir (se aplică la săparea în roci tari și foarte tari).

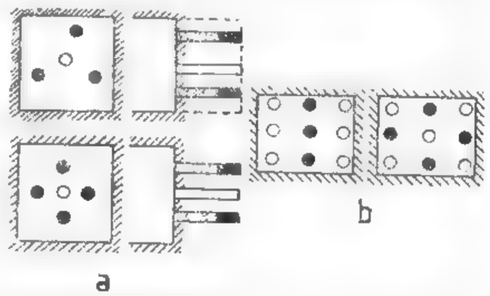


Fig. XI.34. Simburi cilindrici.

Evacuarea materialului din frontul de lucru constă din sfărîmarea bucăților mari de rocă, încărcarea materialului în vagonete și transportul lui pînă la puț, pînă la galeria principală de transport sau direct pînă la gura galeriei și de aici la haldă. Încărcarea din frontul de lucru în vagonete se face manual sau mecanic.

La încărcarea manuală productivitatea este influențată de înălțimea de încărcare de distanța de aruncare cu lopata, de starea vetrei, de starea materialului împușcat etc.

Dacă pe vatră se așază foi de tablă de oțel (groase de 3—6 mm) înainte de împușcare, productivitatea de încărcare crește cu 25—20% față de încărcarea de pe vatra obișnuită.

Productivitatea la încărcare variază între 3 și 5 m³ pe schimbul de 8 ore.

Încărcarea mecanică se poate face cu screperul sau cu mașini de încărcat.

Încărcarea materialului cu screperul se poate aplica chiar și în galeriile cu profil mic, de 3—4 m², realizîndu-se o productivitate medie de 4—5 m³/h. Screperul poate fi folosit cu succes cînd materialul de încărcat se prezintă sub formă de bucăți mai mari.

Încărcarea cu mașini de încărcat este frecvent folosită pe șantierele de explorare (v. tabelul XI.2). Se folosesc, în mod obișnuit, mașinile cu încărcare discontinuă care constau în principiu din: căruciorul cu roți, care circulă pe șenile; platforma așezată pe o placă turnantă, care permite rotirea mașinii; culisa basculantă cu lingură; dispozitivul de acționare compus din motoare pneumatice sau dintr-un singur motor electric.

Aceste mașini se întrebuințează la lucrările miniere ce se sapă în roci tari. Ele pot încărca bucăți de rocă de 300—350 mm.

Pentru a asigura evacuarea materialului din frontul de lucru, este necesar ca distanța de la front pînă la linia ferată să fie cît mai mică.

Încărcarea unui vagonet cu ajutorul mașinii de încărcat durează 1—3 min, iar îndepărtarea manuală a vagonetului plin și aducerea altui vagonet gol poate dura un timp mai mare. Din această cauză manevrarea vagonetelor pline și a celor goale trebuie făcută repede, prin folosirea anumitor dispozitive și prin organizarea perfectă a lucrărilor, aplicînd diverse scheme de manevrare a vagonetelor.

O altă posibilitate de scurtare a timpului de manevră a vagonetelor, atunci cînd se folosește mașina de încărcat, este de a instala, după mașina de încărcat, un transportor mobil cu raclete. Aceasta permite introducerea sub el a întregului tren gol. În acest scop, transportorul este fixat la înălțimea potrivită, materialul ridicat de mașina de încărcat cade pe transportor, iar trenul de vagonete este tras de locomotivă pe măsură ce vagonetele sînt pline.

Condițiile principale de protecție a muncii care trebuie îndeplinite la săparea lucrărilor miniere sînt:

— asigurarea unui aeraj cît mai bun;
— reducerea conținutului de praf de siliciu;
— asigurarea unui iluminat cît mai bun.

Aerajul frontului de lucru, în timpul săpării galeriei de explorare, se face cu instalații de aeraj secundar formate din tuburi de aeraj și ventilatoare axiale montate în coloane de tuburi.

Tuburile sînt confecționate din tablă zincată, pînză cauciucată sau din material plastic, cu diametre de 300 mm sau mai mari. Se folosesc trei sisteme de aeraj secundar: *aspirant, refulant* și *mixt* (fig. XI.35).

Cel mai utilizat este sistemul de *aeraj aspirant*, care prezintă avantajul captării gazelor din front și împiedică răspîndirea acestora pe traseul galeriei. În galeriile de explorare de lungime mare, în coloana de tuburi de aeraj se montează o serie de ventilatoare. Al doilea ventilator se așază la o distanță de 0,3—0,4 din lungimea de aspirație l a primului ventilator (cel mai apropiat de front).

Debitul de aer necesar aerisirii frontului de lucru în cazul aerajului aspirant, refulant și mixt se determină cu relațiile:

— pentru aerajul aspirant

$$Q_a = 0{,}6\,\frac{Sl}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}} = 0{,}6\,\frac{V_1}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}}\ [\mathrm{m^3/min}];$$

— pentru aerajul refulant

$$Q_r = 5\,\frac{SH}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}} = 5\,\frac{V_2}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}}\ [\mathrm{m^3/min}];$$

— pentru aerajul mixt

$$Q_m = 0{,}5\,\frac{V_3}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}}\ [\mathrm{m^3/min}],$$

în care: V_1 este volumul zonei inițiale a gazelor toxice, m³;
V_2 — volumul galeriei (puțului) în săpare, m³;
V_3 — volumul galeriei de la digul D la frontul de săpare, m³;
t — durata aerajului după explozie, 20—30 min;
S — aria transversală a galeriei, m²;
C_1 — concentrația inițială de gaze toxice, recalculate în CO convențional, %;
C — concentrația maximă de CO convențional admis în aerajul ce iese din galerie (0,02%).

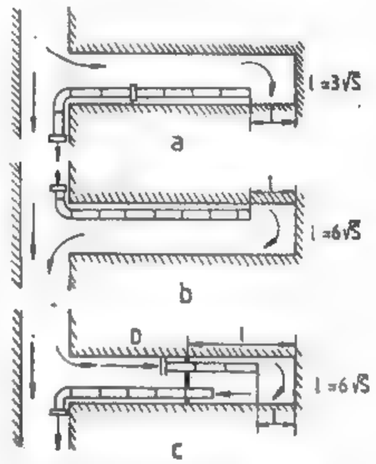


Fig. XI.35. Scheme de aeraj la săparea galeriilor:
a — aspirant; b — refulant; c — combinat.

Eliminarea prafului din frontul de lucru se realizează prin perforare, în mod obligatoriu numai cu injecție de apă.

În locurile de muncă cu praf de silice trebuie aplicat aerajul aspirant.

Intensitatea luminoasă a lămpii în locul de muncă trebuie să fie de 15—25 lx.

— **Susținerea** se face cu lemn (v. fig. XI.28), iar în cazul presiunilor mari și cînd galeriile au o durată mai mare de existență se pot folosi pentru susținere beton (v. fig. XI.29 și XI.30), zidărie, prefabricate de beton, susțineri metalice sau o combinație a acestora.

Susținerea în lemn Lemnul este folosit și în prezent pe scară largă la susținerea galeriilor de explorare de scurtă durată. Acest fapt se datorează calităților favorabile ale lemnului, ca material de susținere: se fasonează ușor, nu se rupe brusc, avînd o mare elasticitate, iar costul inițial al susținerii în lemn este mai redus decît al susținerii în beton sau al celei metalice. Lemnul însă putrezește ușor în atmosfera din subteran, se recuperează greu și nu mai poate fi refolosit în aceleași condiții.

Forma cadrelor întrebuințate la susținerea galeriilor diferă după mărimea și orientarea presiunii. Se întrebuințează *cadre simple*, cînd unei laturi a profilului lucrării miniere îi corespunde o grindă sau un stîlp, și *cadre complexe*, cînd susținerea tavanului, a vetrei sau a pereților se execută din mai multe elemente poligonale.

După cum perimetrul lucrării este susținut integral sau nu, se deosebesc cadre *închise* și *cadre deschise*.

Dintre cadrele simple, cel mai folosit este *cadrul trapezoidal deschis* (v. fig. XI.28), compus dintr-o grindă și doi stîlpi uniform înclinați. Dacă sînt presiuni și din vatră (talpă), se așază și aici o grindă, cadrul devenind un *cadru trapezoidal nchis* (fig. XI.36). În cazul presiunilor importante, diferitele elemente ale cadrelor se întăresc cu *contrafișe* sau cu *grinzi suplimentare* (*juguri*), așezate după direcția lucrării (fig. XI.37)

În funcție de rezistența rocilor din acoperiș sau pereți se folosesc *cadre incomplete* (fig. XI.38).

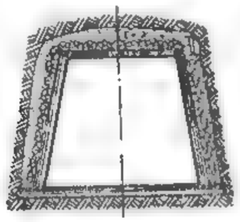


Fig. XI.36. Cadru trapezoidal închis.

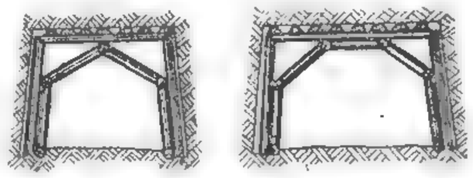


Fig. XI. 37. Cadre trapezoidale întărite.

În cazul presiunilor mai mari, care acționează din toate părțile, se întrebuințează cadrele poligonale (cu 5, cu 6 sau cu 8 laturi).

Îmbinarea bună a elementelor cadrului constituie o condiție esențială a calității susținerii. Se întrebuințează în mod curent *îmbinarea în dinte* sau *prag* (fig. XI.39, *a*, *b*, *c*) și *îmbinarea în scobitură* (*șor* — fig. XI. 39, *d*). Îmbinarea în dinte se folosește atunci cînd există și presiuni laterale, iar îmbinarea în scobitură se folosește în cazul presiunilor mari de tavan.

La îmbinarea contrafișelor cu grinda și cu stîlpii se folosesc și scoabe de oțel care întăresc îmbinarea.

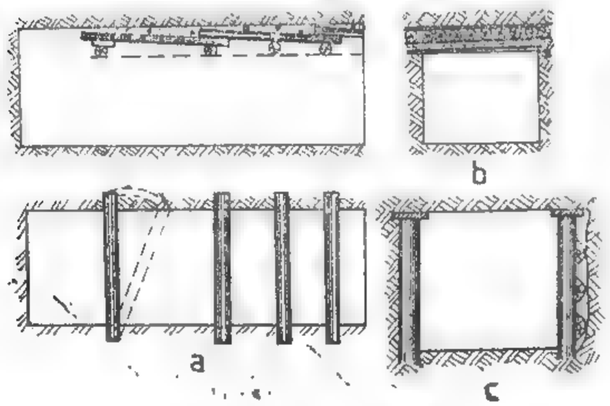


Fig. XI.38. Cadre incomplete: *a* și *b* — numai grinzi; *c* — numai stîlpi.

Cadrele descrise mai sus sînt *cadre rigide*, adică nu cedează decît foarte puțin la presiuni mari.

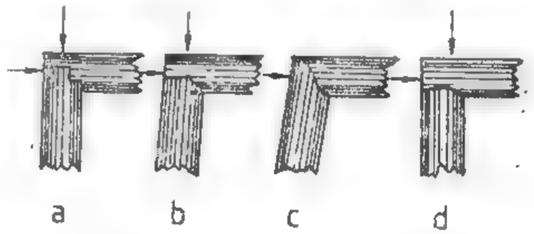
Pentru a evita distrugerea cadrelor în perioada de exercitare a presiunii primare, se construiesc *cadre elastice*. Acestea permit deformări mai mari ale profilului lucrării, fără a se distruge elementele cadrului, datorită ascuțirii mai pronunțate a capetelor stîlpilor.

Susținerea de zidărie a lucrărilor miniere de explorare se utilizează în cazul unor presiuni mari, care distrug susținerea în lemn.

Ca materiale pentru susținerea în zidărie se întrebuințează *piatra naturală cioplită* și *betonul* (*turnat sau sub formă de prefabricate*).

— Pentru zidăria de piatră se folosesc pietre de construcții rezistente. În general se întrebuințează andezitul, granitul, bazaltul etc., și mai rar calcarul compact.

Fig. XI.39. Îmbinarea între grinzi și stîlpi.



Blocurile de piatră se fasonează în carieră pentru a evita transporturile inutile și pentru că în carieră munca se poate organiza mai bine, realizîndu-se o productivitate mai ridicată decît în subteran. Blocurile pentru zidăria pereților se cioplesc în formă de paralelipiped, iar cele pentru boltă în formă de pană.

— Betonul este un amestec de ciment, pietriș, nisip și apă, în anumite proporții. Pietrișul și nisipul nu suferă nici o transformare chimică și au rolul de umplutură în masa betonului.

Rezistența la compresiune a betonului (marca) depinde în primul rînd de cantitatea de ciment introdusă la 1 m³ de beton și de cantitatea de apă liberă neabsorbită a materialului inert.

Această rezistență (R_B) se calculează cu formula:

$$R_B = 0{,}5\, R_c \left(\frac{c}{a} - 0{,}5 \right) \quad [\text{daN/cm}^2],$$

în care: R_c este rezistența la compresiune a cimentului, daN/cm²;
c — cantitatea de ciment, kg;
a — cantitatea de apă liberă, l.

Calitatea betonului depinde și de nisipul și pietrișul folosit. Cel mai bun nisip este cel cuarțos, cu grăunți de 0,15—0,5 mm diametru. Este bine ca pietrișul să aibă muchii și colțuri neregulate, cum este cel provenit prin concasare.

Cantitatea de apă necesară variază între 78 și 85 l apă/m³ pentru beton uscat și 90—120 l apă/m³ pentru beton plastic.

— Blocurile de beton prefabricate, denumite *betonite* sau *bolțari*, se întrebuințează pe scară din ce în ce mai largă, prezentînd o serie de avantaje importante: se fabrică la suprafață, zidirea este simplă și se poate realiza repede. În majoritatea cazurilor, blocurile de beton au formă de pană simplă. Se construiesc însă și betonite cu forme speciale.

Betonitele se fabrică din beton de diferite mărci, după mărimea presiunilor. În unele cazuri se folosesc blocuri de beton armat.

Susținerea metalică a galeriilor de explorare se folosește în cazul unei durate de serviciu mai mare a lucrării miniere, atunci cînd presiunea este și ea mai mare. Deși necesită cheltuieli inițiale mai mari, susținerea metalică are multe avantaje în

comparație cu alte moduri de susținere, și în special față de susținerea în lemn: ocupă spațiu mic, nu arde, are durată mare de serviciu, se poate recupera etc.

După modul de comportare la presiuni a susținerii metalice se disting susțineri *rigide, semirigide, elastice.*

Ca formă, sistemele au evoluat, folosindu-se la început cadrele metalice rigide trapezoidale, după care s-a introdus susținerea cu cadre metalice în arc sau susținere cu cintre metalice.

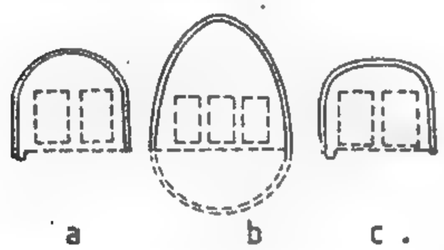


Fig. XI.40. Cintre rigide:
a — în arc de cerc; *b* — în ogivă; *c* — în boltă de mică înălțime elastică

Susținerea cu *cintre metalice* a înlocuit aproape complet susținerea cu cadre trapezoidale.

O cintră metalică este formată din mai multe elemente asamblate între ele prin dispozitive speciale, alcătuind astfel un cadru de susținere în formă de arc. Pentru presiuni normale și uniform repartizate, forma ideală o constituie cintra circulară închisă.

La susținerea cu cintre metalice, modul de susținere poate să fie *rigid*, folosind cintre rigide, sau *elastic*, folosind cintre culisante.

— *Susținerea cu cintre rigide.* În galeriile sau planele înclinate în care nu sînt mișcări de terenuri, susținerea sub formă de arc, formată din cintre rigide (fig. XI.40) care sub influența presiunii rocilor nu își modifică forma, rezistă mult mai bine decît un cadru metalic trapezoidal.

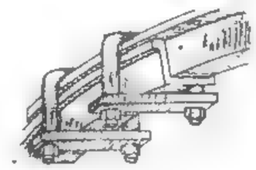
Elementele unei cintre rigide se construiesc din șine vechi sau din profile de oțel dublu T. Șinele vechi se așază cu coroana în afară, astfel ca talpa șinelor să susțină bandajele. Îmbinarea se face cu eclise și cu șuruburi. Pentru secțiuni mici de galerie se adoptă cintre formate din două elemente îmbinate la partea de sus a bolții. Pentru secțiuni mari, elementele cintrei sînt de lungimi aproape egale. Pentru asigurarea stabilității susținerii, între cadrele metalice se bat *stringători* orizontale de lemn rotund de stejar și, în unele cazuri, cintrele se reunesc prin bucăți de oțel rotund (oțel beton) sudate, formînd astfel un grilaj care susține bandajele dintre pereții galeriei și cadrele metalice.

— *Susținerea cu cadre culisante.* Cintrele culisante (fig. XI.41) asigură o susținere metalică elastică, adică o susținere care permite, sub influența presiunii rocilor să se modifice dimensiunile secțiunii transversale a lucrării miniere și o deformare a elementelor pînă la o anumită limită, fără ca cintrele să-și piardă capacitatea lor portantă.

Pentru asigurarea elasticității se folosesc îmbinări între elemente care să permită o culisare a acestora. La majoritatea tipurilor, legătura culisantă se realizează prin îmbucarea a două elemente ale cintrei, solidarizate cu ajutorul unor brățări prevăzute cu șuruburi la capete (fig. XI.41, *a*).

O cintră simplă foarte răspîndită este tipul *Toussaint-Heintzmann* sau *TH*, cu legături culisante (fig. XI.42).

Cele mai folosite sînt profilele TH de 21 kg/m. Modul cel mai obișnuit de cintră culisantă TH este cel în potcoavă, compus din trei bucăți: o coroană la partea superioară și două picioare laterale, care se petrec peste coroană cu 40 cm. În cazul umflării vetrei se folosește cintra circulară compusă din patru bucăți, adăugîndu-se o talpă cu legături identice. În cazuri rare se folosesc și cintre formate din cinci elemente. Susținerea cu cadre metalice inelare cu patru sau cinci elemente se folosește, în general, atunci cînd există presiuni mari în toate direcțiile.



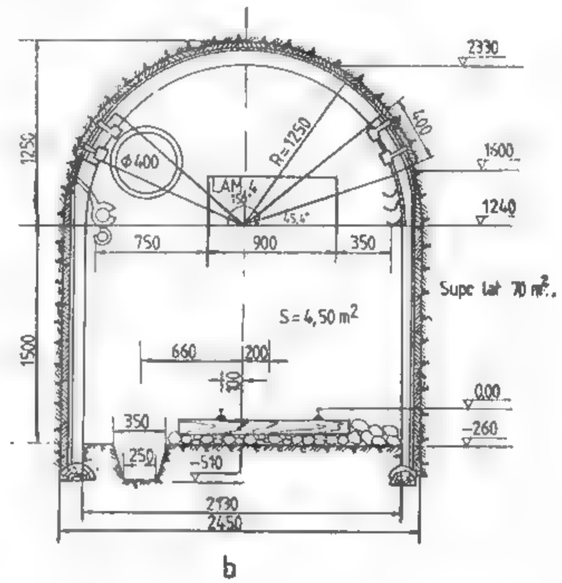


Fig. XI.41. Susținere elastică cu cadre culisante:
a — brățară pentru îmbinarea cintrelor metalice.
b — galerie G4M — 6,80 m², susținută cu cintre culisante.

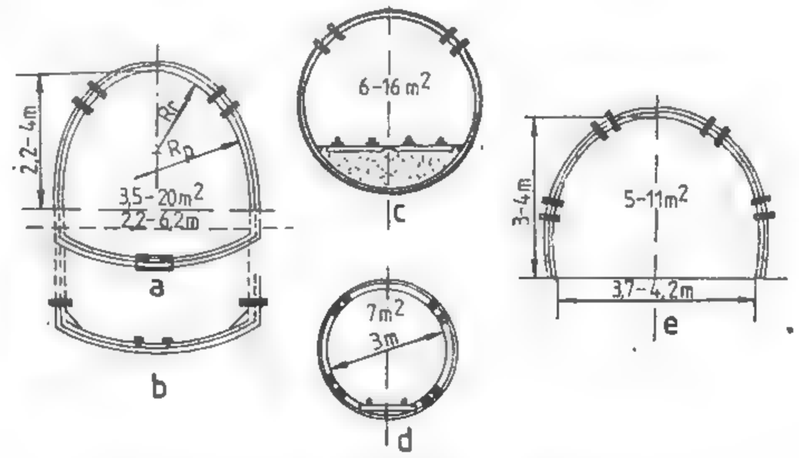


Fig. XI.42. Cintre Toussaint — Heintzmann:
a — cu talpă articulată; *b* — cu talpă încastrată; *c* — circulare pentru cale dublă; *d* — circulare pentru cale simplă; *e* — din cinci elemente.

Susținerea ancorată. În ultimii ani se mai aplică și susținerea ancorată, la susținerea tavanului și pereților galeriilor.

Metoda constă în forarea unor găuri de mină în tavan, în care se introduc tije metalice ce se fixează în fundul găurii cu ajutorul unor dispozitive, iar la capătul rămas afară se fixează o placă, cu ajutorul unei piulițe (fig. XI.43).

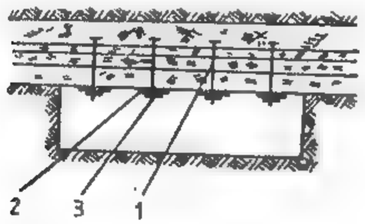


Fig. XI.43. Schema susținerii ancorate:
1 — tija ancorei; *2* — placă metalică; *3* — piuliță.

Dacă în tavan sînt roci stratificate care prezintă planuri de șistozitate de minimă rezistență, cînd nu sînt susținute, fiecare strat se încovoaie (sub acțiunea greutății), relativ independent de cele de deasupra lui. Strîngînd cu ajutorul ancorelor întregul pachet de strate, acestea nu mai pot acționa independent, fapt care împiedică surparea tavanului. Lungimea tijelor de ancorare variază între 1,5 și 3,0 m. Pe galeriile cu durată lungă de utilizare se întrebuințează *ancore recuperabile*, adică ancore a căror dispozitiv de fixare constă dintr-un manșon cu zimți exteriori, care își mărește diametrul prin înșurubarea ancorei prevăzute cu o porțiune tronconică; la deșurubarea tijei aceasta rămîne fixată în gaura de mină. Pentru realizarea unei susțineri mai rezistente, pe pereții și tavanul lucrărilor miniere se poate aplica o plasă de sîrmă, simplă sau dublă, care se fixează cu ancore.

Torcretarea constă în depunerea unui strat de beton de 5—30 mm, pe pereții și tavanul galeriilor sau ale altor lucrări miniere. Se efectuează cu ajutorul unor mașini speciale care sînt acționate cu aer comprimat, la o presiune de 2—3,5 daN/cm².

Mașina se alimentează cu un amestec uscat de nisip și ciment, care se omogenizează și apoi este împins, cu ajutorul aerului comprimat, printr-o conductă de refulare, pînă la injectorul de beton. Aici se amestecă cu apă și este proiectat cu o viteză de 130—170 m/s.

Dozajul obișnuit este: 1 parte ciment și 3 părți nisip uscat (4—8% umiditate) și clasat la 5—7 mm, iar apa se adaugă în proporție de 10—20% din greutatea amestecului. Apa trebuie să aibă o presiune mai mare decît a aerului comprimat cu 0,75—1 daN/cm².

Betonul obținut prin torcretare, din cauza vitezei de proiectare, este compact și are o rezistență de compresiune de aproape două ori mai mare decît a betonului obișnuit. Acest beton aderă bine la zidărie veche, la beton vechi, la piatră și chiar la lemn.

În interiorul galeriei se montează calea ferată, conductele de aer comprimat și cablul electric.

Săparea galeriilor de explorare cu metode speciale. În roci dezagregate nestabile, curgătoare etc., săparea galeriilor se face prin metode speciale. În funcție de natura rocilor se aplică următoarele metode speciale:

Metoda de săpare cu palplanșe. Aceasta constă în baterea din aproape în aproape a unor palplanșe (frigări) între grinda ultimului cadru de susținere spre tavan și lateral. Palplanșele se bat unele lîngă altele și formează astfel o căptușeală protectoare la tavan și pereți. Pe măsură ce se bat palplanșele se evacuează și roca din frontul de lucru (fig. XI.44).

Metoda de săpare cu scut. Se aplică în cazul rocilor curgătoare, cînd apare necesitatea susținerii integrale a profilului galeriei: la tavan, pereți, vatră și în front. În felul acesta susținerea folosită are forma unui scut. Pentru extragerea rocii, în scut se fac ferestre care permit curgerea acesteia (fig. XI.45).

Metoda de săpare cu picotaj. Această metodă se aplică la trecerea prin roci curgătoare și acvifere, utilizînd picoți de lemn care se bat înainte în masa rocilor

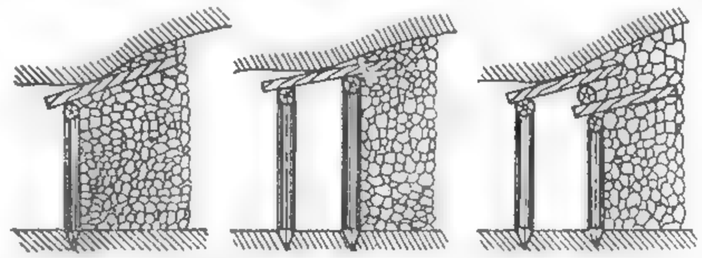


Fig. XI.44. Înaintarea cu palplanșe (faze succesive).

curgătoare (în frontul de lucru și în vatră), asigurîndu-se astfel consolidarea acestora Printre picoți, care se bat unul lîngă altul pe toată suprafața frontului, se scurg apa și bucățile mai mici de rocă (fig. XI.46).

Documentarea geologică a galeriilor de explorare reprezintă obiectivul principal pentru care acestea se execută. Ca atare, acestei operații trebuie să i se acorde o importanță deosebită.

La documentarea geologică a galeriilor de explorare trebuie urmărite patru etape, după cum urmează:

— ridicarea topografică;
— cartarea geologică;
— stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanțe minerale utile;
— prelevarea probelor.

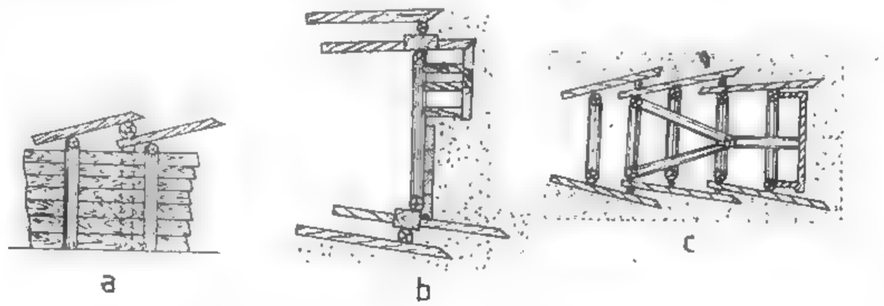


Fig. XI.45. Înaintarea cu scut de lemn:
a — peretele galeriei; *b* — secțiune verticală în front; *c* — vatra galeriei

Ridicarea topografică a galeriilor presupune efectuarea măsurătorilor topografice și reprezentarea acestora la scară pe plane și hărți.

Cartarea geologică reprezintă una din operațiile de bază ale documentării geologice și cuprinde două faze distincte: *cartarea desfășurată* și *descrierea desfășuratei.*

C a r t a r e a d e s f ă ş u r a t ă se execută pe carnetul de teren, în galerie, după fiecare ciclu de înaintare, înainte de susținerea definitivă. Pe hîrtie milimetrică se desenează la scară: pereții, vatra, tavanul și frontul, sau numai (de regulă) pereții, tavanul și frontul (forma cea mai des întîlnită în explorare).

Scările de cartare sînt 1:50; 1:100; 1:200 și mai rar 1:300, iar alegerea uneia sau a alteia se face în funcție de detaliile de trecut pe desfășurată.

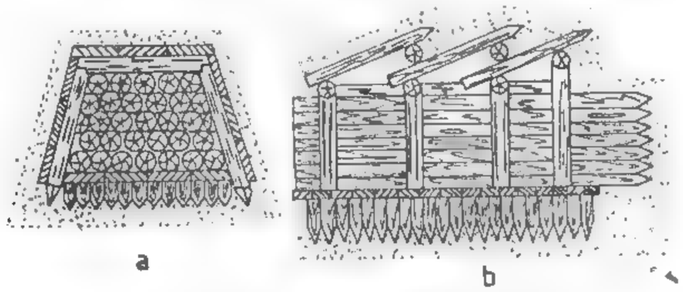


Fig. XI.46. Înaintarea cu picoți:
a — secțiune transversală; *b* — secțiune verticală longitudinală.

Înainte de începerea cartării propriu-zise se face o trecere în revistă a porțiunii de cartat, stabilindu-se detaliile ce se vor menționa pe desfășurată (ținîndu-se seama și de cartările anterioare) și totodată se face și marcarea metrajului pe unul din pereții galeriei.

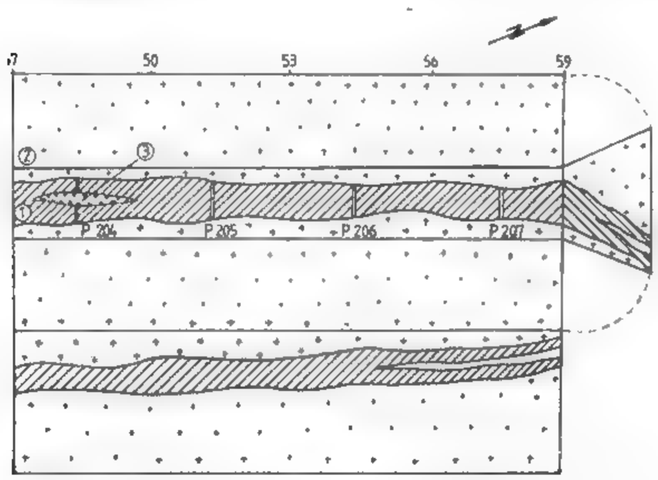


Fig. XI.47. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de galerie direcțională:
1 — mineralizație filoniană; *2* — andezit alterat hidrotermal; *3* — geodă; *P205* ... .. *P207* — locurile de prelevare a probelor chimice prin metoda brazdelor.

Pe desfășurată se trec aceleași elemente ca și în cazul șanțurilor, tranșeelor și puțurilor de mînă, cu mențiunea că se va insista pe elementele de poziție (direcție și înclinare) ale corpului de substanță minerală utilă și faliilor, care se vor menționa și ele pe desfășurată. Detaliile în acest caz sînt mult mai numeroase, făcîndu-se la următoarele scări: 1:10; 1:5; 1:2 sau chiar 1:1 și pot cuprinde texturi sau moduri de prezentare a mineralizațiilor (raporturi între minerale metalice, între minerale metalice și cele de gangă sau între mineralizație și roca înconjurătoare). Toate detaliile se vor figura pe desfășurată (fig. XI.47).

În practica geologică se mai obișnuiește să se facă și observații în planul de orizont (cartare în planul de orizont, fig. XI.48), dar de cele mai multe ori galeriile trebuie susținute imediat, lucru ce nu mai permite efectuarea observațiilor, și din acest motiv, se recomandă cartarea desfășurată imediat după un ciclu de înaintare și întocmirea planelor de orizont pe baza acestor cartări.

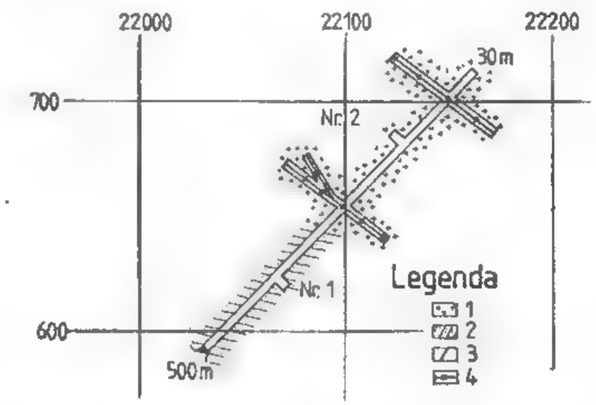


Fig. XI.48. Plan geologic de orizont.

D e s c r i e r e a d e s f ă ş u r a t e i se face în același mod ca și la tipurile de lucrări prezentate anterior, insistîndu-se foarte mult pe:

— forma de prezentare a mineralizației;
— elementele structurale;
— gradul de fisurare;
— tipurile de mineralizație;
— tipurile de alterări;
— relațiile dintre corp și rocile înconjurătoare;
— fenomenele hidrogeologice;
— locul de probare și modul de probare;
— descrierea macroscopică a detaliilor etc.

Avînd în vedere, uneori, necesitatea susținerii totale a porțiunii de galerie executată, atît pe desfășurată, cît și la descriere se trec toate detaliile care pot fi observate, chiar dacă unele se trec cu semn de întrebare (cele pentru care nu există un grad prea mare de siguranță).

Stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanță minerală utilă. Elementele spațiale ale corpului de substanță minerală utilă au foarte mare importanță atît în ce privește orientarea lucrărilor ulterioare, cît și ca parametri de calcul al rezervelor (grosimea).

D i r e c ț i a ș i î n c l i n a r e a se măsoară în funcție de tipul de galerie, mai precis de poziția galeriei față de corpul de substanțe minerale utile, astfel:

— În galerie direcțională măsurătorile se pot face cu *busola geologică* (direct pe suprafața corpului, aproximînd suprafața sau folosind *dispozitivul în cruce*) sau cu *busola suspendată* (se măsoară azimutul direcției). Pentru măsurătoare se întinde o sfoară în tavanul galeriei direcționale, între două puncte de pe aceeași față a corpului (dacă nu este posibil se aproximează această față), de care se suspendă busola cu zero reper în sensul căderii planului de măsurat, după care se face citirea la acul nordic al busolei (azimutul căderii stratului). Pentru determinarea înclinării, cînd nu poate fi

folosit clinometrul de la busola obișnuită, se folosește eclimetrul cu brațe de suspendare care se prinde de o sfoară — ce unește două puncte — unul din tavanul galeriei, iar celălalt din vatra galeriei, cu mențiunea că aceste două puncte să fie localizate în același plan al corpului de substanță minerală utilă, după care se face citirea directă.

— În galerie transversală măsurarea elementelor de poziție se poate face tot cu busola obișnuită, pe fața de strat, sau folosind *dispozitivul în cruce*, sau cu busola suspendată și eclimetrul, cu mențiunea ca măsurătorile să se execute pentru același plan al corpului.

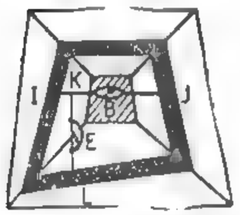


Fig. XI.49. Modul de materializare a planului de măsurare a direcției și înclinării corpului de substanță minerală utilă (filon, strat, lentilă) intersectat de o galerie.

Busola suspendată se folosește după ce se materializează linia rezultată din intersecția planului de măsurare a corpului cu planul orizontal, printr-o sfoară *IJ* (fig. XI.49), de care se suspendă busola *B* cu zero reper în sensul căderii planului și efectuîndu-se citirea azimutului căderii la acul nordic. Pentru măsurarea înclinării, de sfoara *IJ* se prinde o a doua sfoară *KL* (care trebuie să reprezinte, linia de cea mai mare pantă a planului) de care se suspendă eclimetrul *E*, efectuîndu-se citirea directă.

— În galerie oblică direcția și înclinarea se pot obține prin măsurători cu busola suspendată și eclimetrul, aplicate ca în cazul de mai sus, după ce linia *IJ* se materializează prin două jaloane (unite printr-o sfoară) în planul de măsurare a corpului. Direcția și înclinarea se mai pot determina și prin construcții grafice (metoda proiecției cotate), cînd nu se poate efectua măsurarea directă.

G r o s i m e a n o r m a l ă (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate măsura direct, în cazul în care aceasta se încadrează pe:

— frontul galeriei (galerie direcțională);
— peretele galeriei (galerie transversală);
— în vatră sau tavan (galerie oblică).

Pentru situațiile în care grosimea normală nu se încadrează pe unul din elementele galeriei, aceasta se determină în funcție de grosimea orizontală (g_o) și înclinarea corpului (α), după cum urmează:

— galerie direcțională (fig. XI.50, *a*):

$$g_n = g_o \sin\alpha$$

— galerie transversală (fig. XI.50, *b*):

$$g_n = g_o \sin\alpha$$

— galerie oblică (fig. XI.50, *c*):

$$g_n = g_o \sin\beta = g_o' \sin\alpha \sin\beta;$$
$$g_o = g_o' \sin\alpha;$$
$$\beta^\circ = \delta_2^\circ - \delta_1^\circ;$$

unde: δ_1° — reprezintă azimutul direcției galeriei;
δ_2° — azimutul direcției zăcămîntului;
g_o' — grosimea aparentă orizontală;
α — înclinarea zăcămîntului.

Recoltarea probelor este o operație foarte importantă în cadrul documentării geologice. Se recoltează probe mineralogice, probe pentru determinări chimice, fizice și probe tehnologice.

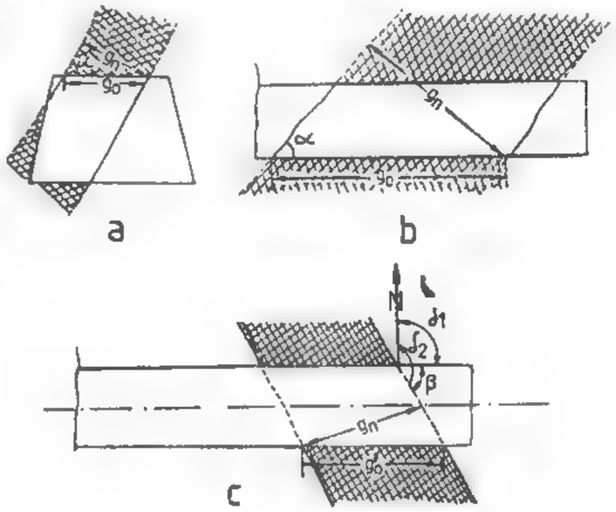


Fig. XI.50. Determinarea grosimii normale a corpului de substanță minerală utilă:

a — în cazul unei galerii direcționale; *b* — în cazul unei galerii transversale; *c* — în cazul unei galerii oblice.

Avînd în vedere importanța parametrilor care se obțin în urma probării substanței minerale utile, trebuie respectate toate condițiile unei probări cît mai reprezentative, condiții și metodologii prezentate în detaliu la Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile.

2.2.5. PLANE ÎNCLINATE DE EXPLORARE

Planele înclinate sînt lucrări miniere cu o înclinare mai mică de 30°, săpate de sus în jos (descendent).

Obiective urmărite. Se folosesc la explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile înclinate sub 30°, care apar la zi.

Planele înclinate se folosesc pe scară mare în explorarea zăcămintelor de cărbuni și mai puțin în explorarea zăcămintelor de minereuri. Ele reprezintă avantajul că sînt mai ieftine decît puțurile verticale și mai ușor de executat.

Amplasamentul planelor înclinate de explorare. Planele înclinate de explorare se sapă de regulă în zăcămînt; cînd zăcămîntul este înclinat și aflorează, planul înclinat se sapă pe înclinarea lui, avînd vatra planului pe culcuș.

Forma și dimensiunile planelor înclinate de explorare. La dimensionarea planelor înclinate se ține seama, în general, de aceeași factori ca și la puțurile verticale.

Planele înclinate de explorare au secțiunile tipizate de: 5,20 m², 6,70 m², 8,00 m², 10,20 m² (v. tabelul XI.2) și se susțin în beton torcretat, în lemn (fig. XI.51), în metal (fig. XI.52) sau în beton monolit. Profilul acestora poate fi trapezoidal, sub formă de boltă sau circular, avînd două compartimente — unul pentru transport și celălalt pentru circulația personalului. Lungimea planelor înclinate se măsoară pe înclinare.

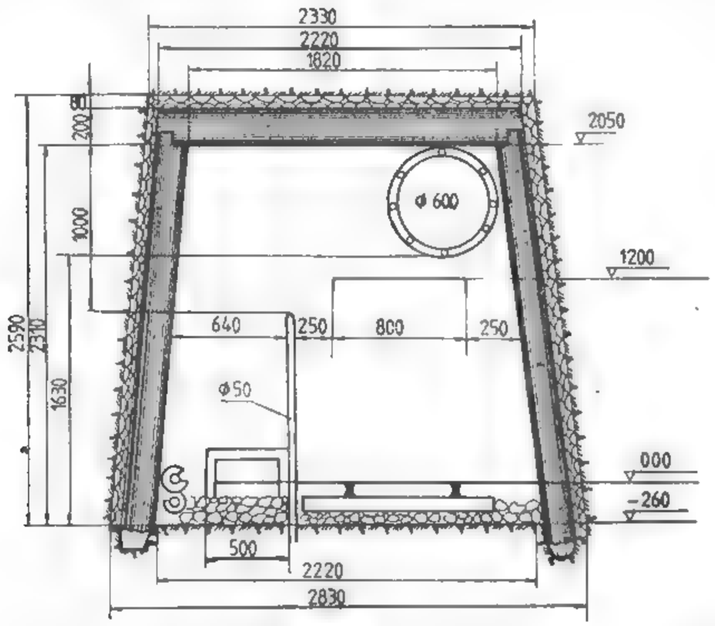


Fig. XI.51. Plan înclinat PI.1L — 6,70 m², cu profil trapezoidal, susținut în lemn.

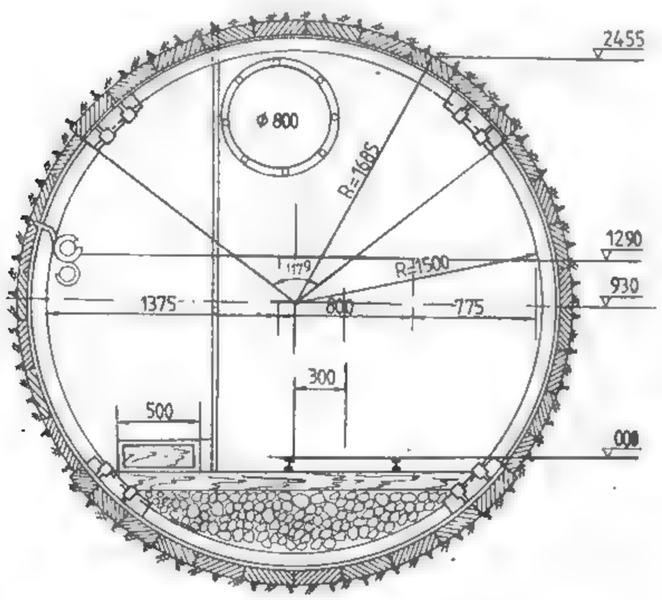


Fig. XI.52. Plan înclinat PI.2Mc — 9,00 m², cu profil circular și susținere metalică.

Săparea și susținerea planelor înclinate. Săparea planelor înclinate este determinată în special de infiltrațiile de apă.

Explorarea începută prin plane înclinate se combină cu galerii direcționale săpate din planul înclinat.

Totdeauna cînd zăcămîntul prezintă condiții favorabile pentru explorarea prin lucrări miniere, se examinează în prealabil dacă substanța minerală utilă este mai moale sau mai tare decît rocile înconjurătoare. Cînd zăcămîntul este mai moale se recomandă planul înclinat, deoarece este mai economic, iar în caz contrar, cînd zăcămîntul este mai tare, la aceleași condiții de zăcămînt este preferabil puțul vertical.

Săparea planelor înclinate se face de sus în jos, în cazul explorării inițiale a unui zăcămînt sau în cazul deschiderii unui nou orizont. Dacă planul înclinat servește ca lucrare de legătură între un orizont inferior deja deschis și un orizont superior, se obișnuiește, în cele mai multe cazuri, săparea de jos în sus, deoarece acest procedeu este mai economic (roca tăiată poate fi evacuată din front mai ușor).

Metodele de săpare de sus în jos a planurilor înclinate sînt asemănătoare cu metodele de săpare a galeriilor. Tăierea se face cu explozivi sau cu ciocane de abataj etc.

Susținerea planelor înclinate este asemănătoare cu cea a galeriilor.

Documentarea geologică și probarea formațiunilor din planele înclinate de explorare se fac la fel ca și la galerii.

2.2.6. SUITORI DE EXPLORARE ȘI COBORÎTORI

După străpungerea unui zăcămînt prin galerii transversale sau puțuri și după urmărirea lui prin galerii direcționale, acesta trebuie cercetat pe verticală, cu ajutorul unor lucrări miniere verticale sau ușor înclinate față de verticală (în funcție de înclinarea zăcămîntului),cu secțiunea mai mică decît a puțurilor, numite *suitori*.

Obiective urmărite. Prin suitori se cercetează continuitatea pe verticală a zăcămîntului, variațiile mineralizației pe verticală, se stabilește zona optimă de mineralizare și zăcămîntul este compartimentat în panouri, în vederea determinării rezervelor de categorii superioare (fig. XI.53).

În afară de rolul pe care îl au suitorile în conturarea și determinarea calitativă a zăcămîntului pe verticală, ele asigură aerajul în subteran, făcînd posibilă stabilirea unui circuit de aer care spală fronturile de lucru.

Forma și dimensiunile suitorilor de explorare. La alegerea profilului suitorilor se ține seama de caracteristicile zăcămîntului, de natura rocilor și de scopul urmărit. Totdeauna suitorile de explorare au două compartimente, înlesnind săparea și mărind securitatea muncii, atît în timpul executării lucrării cît și ulterior (fig. XI.54—XI.56).

Cînd suitorile de explorare vor servi și viitoarei exploatări, se pot prevedea trei compartimente. Ca și lucrările orizontale, suitorile pot fi susținute sau nesusținute. Ele au profile de formă dreptunghiulară sau circulară a căror secțiune, după condițiile de lucru și scopul urmărit, poate fi de 3,20 m² (fig. XI.54), 5,10 m² (fig. XI.55) și 6,70 m² (v. tabelul XI.2). Lungimea lor este de 30—100 m, măsurată pe înclinarea zăcămîntului.

Săparea și susținerea suitorilor de explorare. Suitorile se sapă, de regulă, în zăcămînt. În cazul zăcămintelor înclinate, suitorile se sapă pe înclinare, urmărindu-se încadrarea zăcămîntului în pereții suitorii.

Distanța dintre suitori variază de la zăcământ la zăcământ, depinzînd de gradul explorării care se execută. La fixarea distanței este necesar să se țină seama și de viitoarea exploatare, fiindcă suitorile de explorare pot fi folosite la exploatare.

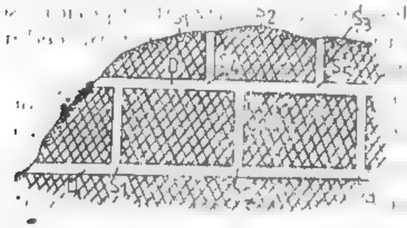


Fig. XI.53. Împărțirea zăcămîntului prin suitori în panouri (secțiune în planul zăcămîntului, în proiecție verticală):

D — galerii direcționale; $S_1 \ldots S_6$ — suitori; $S_1 \ldots S_6$ — tauturi de explorare.

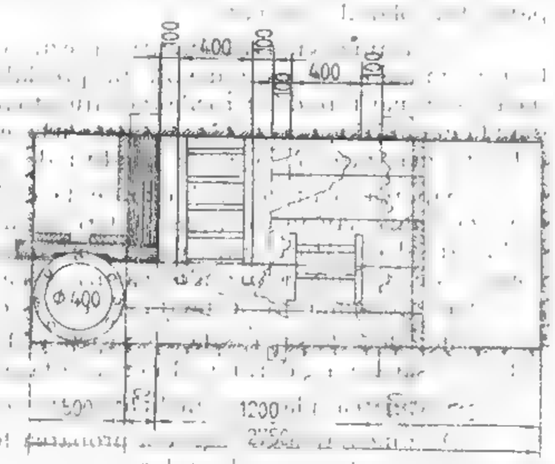


Fig. XI.54. Suitoare S1T1 — 3,20 m², profil dreptunghiular, nesustinută

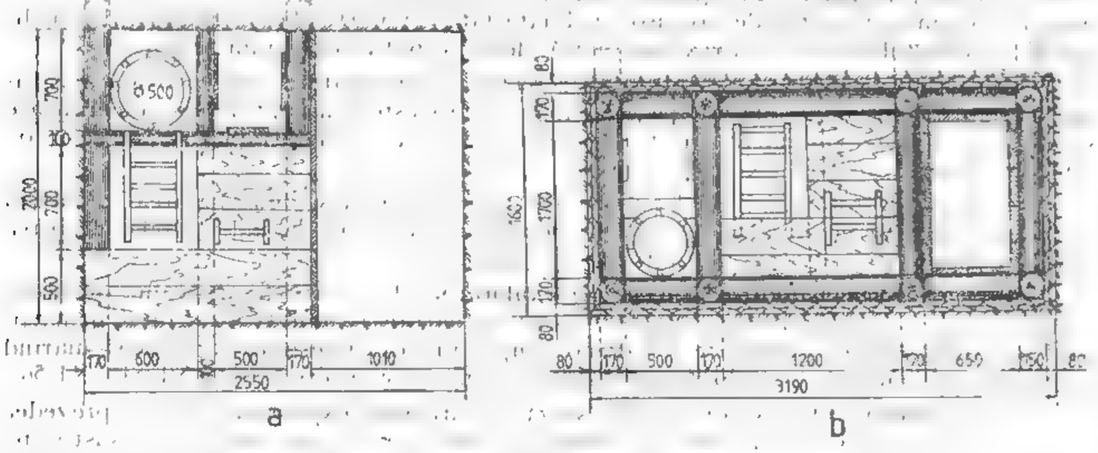


Fig. XI.55. Suitori cu profil dreptunghiular:

a — S2T1 — 5,10 m², nesustinută; b — S1L — 5,10 m² susținută în lemn.

Cînd se urmărește explorarea amănunțită, suitorile se sapă la intervale din 50 în 50 m, distanță considerată corespunzătoare din punct de vedere tehnic și geologic; la zăcăminte de dimensiuni mari această distanță poate fi de 100 m.

Susținerea suitorilor se face în lemn sau în beton.

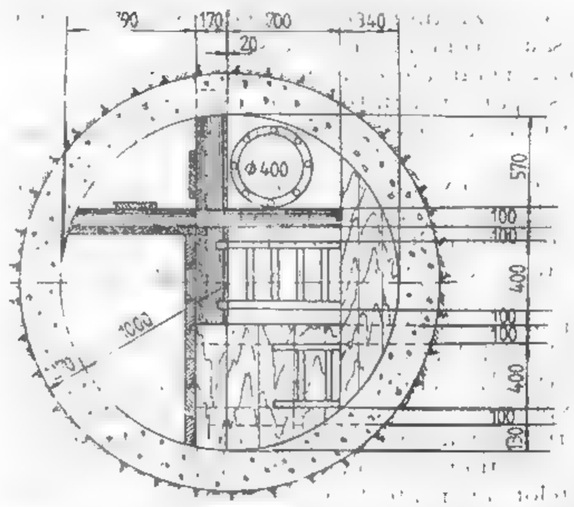


Fig. XI.56. Suitoare S1B — 5,10 m², cu profil circular, susținută în beton.

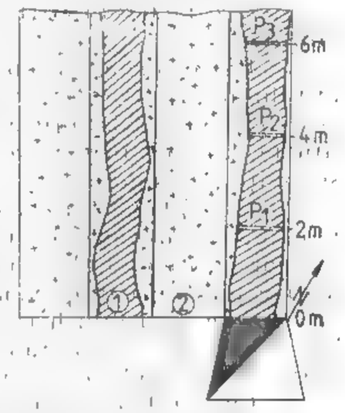


Fig. XI.57. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de suitoare:

1 — mineralizație filoniană; 2 — andezit alterat; $P_1 \ldots P_3$ — locul de prelevare a probelor brazdă.

Documentarea geologică și probarea suitorilor se face după aceleași norme ca și la celelalte lucrări miniere (fig. XI.57). Concomitent cu săparea suitorilor se iau probe sistematice pentru analizele mineralogice și chimice.

3. EXPLORAREA PRIN FORAJE

3.1. CONDIȚII DE APLICARE A FORAJULUI ÎN EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR

Forajul a găsit în ultima vreme o largă aplicare în domeniul explorării tuturor substanțelor minerale utile, datorită rapidității în execuție, simplității utilajului și costului mai redus al lucrărilor de explorare prin foraje, față de cel al lucrărilor miniere.

În afară de aceasta, există anumite situații în care zăcămîntul nu poate fi explorat decît exclusiv prin foraje, cum este cazul zăcămintelor de substanțe fluide, al zăcămintelor situate sub fundul mărilor, sau cînd acestea sînt situate la o mare adîncime.

Pe de altă parte, recuperajul probelor de teren, care a crescut pînă la 90% și chiar 100%, oferă posibilitatea de a obține toate datele geologice necesare determinării caracteristicilor formațiunilor străbătute și descifrării structurilor geologice.

Cu toate avantajele pe care le oferă forajul, în explorare trebuie să se țină seama de condițiile locale și cele specifice fiecărui zăcămînt, examinîndu-se oportunitatea folosirii lucrărilor miniere sau de foraj sau o combinație a acestora.

Factorii de bază care determină, în general, alegerea metodei de explorare sînt:

— forma zăcămîntului, mărimea și particularitățile sale tectonice;

— caracterul repartiției mineralelor utile și a celor dăunătoare în corpurile mineralizate.

Există unele zăcăminte la care forma și extinderea în adîncime se pot cerceta atît din punct de vedere economic cît și tehnic, prin lucrări miniere, iar altele unde este indicată de la prima vedere folosirea forajelor, cum este cazul zăcămintelor situate la adîncime mare în scoarță sau a zăcămintelor de dezvoltare foarte mare și conținut uniform.

Un rol hotărîtor în alegerea genului de lucrări și în amplasarea acestora îl constituie caracterul mineralizației și în special modul unifirom sau neuniform de repartiție a componentului util în masa mineralizată. În majoritatea cazurilor, zăcămintele se disting prin repartiție neuniformă, iar explorarea acestora numai prin lucrări de foraj ar conduce la cheltuieli foarte mari datorită numărului mare de foraje necesare stabilirii mărimii zăcămîntului și variației conținutului în component util. Pe de altă parte nici gradul de precizie al rezultatelor nu poate fi atins în mod corespunzător.

Cu totul alta este situația zăcămintelor mari și cu conținut uniform.

Rezultă deci că sînt cazuri în care este indicat să se facă explorarea exclusiv prin lucrări miniere, cum sînt zăcămintele cu formă complicată, cu întindere relativ redusă și cu conținut foarte variabil în component util. La fel există situații cînd se recomandă explorarea exclusiv prin foraje, așa cum s-a mai arătat, în cazul zăcămintelor situate la mare adîncime sau al zăcămintelor de mare amploare și cu conținut uniform.

În majoritatea cazurilor însă este nevoie să se folosească explorarea mixtă, prin combinarea lucrărilor miniere cu cele de foraje, iar preponderența unuia din genul de lucrări depinde de la zăcămînt la zăcămînt. În folosirea combinată a lucrărilor, execuția acestora poate fi organizată astfel ca ca ele să fie realizate:

— simultan (sau în paralel), cînd zăcămîntul este atacat atît prin lucrări miniere cît și prin foraje;

— succesiv, cînd forajul se aplică pe baza rezultatelor obținute în prealabil de lucrările miniere de explorare și invers;

— paralel-succesiv, care reprezintă procedeul cel mai obișnuit.

Afară de avantaje, forajul de explorare are și unele dezavantaje. În cursul executării forajului, realizarea unui procent ridicat de recuperare a carotei, ca și menținerea normală a noroiului de foraj sînt în unele cazuri extrem de dificile, iar uneori chiar imposibile. Astfel, existența unui acoperiș faliat sau a zăcămintelor fisurate și dislocate creează condiții grele de lucru și scumpesc enorm lucrarea prin măsurile speciale de izolare ce se impun (tubarea, cimentarea).

Pe de altă parte, realizarea unei probări corecte conduce în multe cazuri la reducerea randamentului săpării și la ridicarea costului acesteia.

În afara criteriilor privind costul lucrărilor și durata de execuție, lucrările de explorare miniere și de foraj mai trebuie apreciate comparativ și sub aspectul preciziei rezultatelor și al riscului. Din punctul de vedere al rezultatelor, utilizarea lucrărilor miniere este superioară lucrărilor de foraj, datorită posibilității contactului direct cu formațiunile geologice. De asemenea, lucrările de foraj sînt mai riscante, fie datorită condițiilor de zăcămînt (falieri, efilări, cutări ale zăcămîntului etc.), care fac ca rezultatele forajelor să fie negative sau neconcludente, fie datorită tehnicii de foraj (devieri, recuperaj necorespunzător etc.), care fac ca lucrările să nu-și atingă obiectivul urmărit (v. fig. XI.101).

Din analiza condițiilor de aplicare a lucrărilor de foraj în explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile și a criteriilor de comparație a acestora cu lucrările miniere, se pot trage următoarele concluzii:

— există situații în care unica posibilitate de investigație în domeniul cercetărilor geologice și a explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile o prezintă lucrările de foraj;

— în faza de explorare, metoda cea mai indicată este folosirea combinată a lucrărilor miniere și de foraj;

— justificarea economică a duratei de execuție a lucrărilor trebuie să fie făcută luîndu-se în considerație întregul ansamblu de lucrări necesare explorării integrale și perioada necesară pînă la darea în exploatare a zăcămîntului;

— deși gradul de precizie al rezultatelor obținute prin lucrările de foraj este inferior preciziei datelor din lucrările miniere de explorare, totuși acestea dau posibilitatea obținerii de rezultate concludente asupra mineralizației și a potențialului zăcămîntului, ceea ce permite să se facă previziuni de timp asupra lucrărilor de viitor;

— prin problemele de execuție și de organizare mai simple, pe care le ridică activitatea forajului de explorare, există întotdeauna posibilitatea de a face investigații și a obține date mult mai devreme în cele mai variate și mai grele condiții naturale și de zăcămînt.

3.2. DATE GENERALE ASUPRA FORAJULUI

Forajul constă în executarea în scoarță a unei deschideri cilindrice caracterizată prin lungime mare în comparație cu secțiunea sa, numită *gaură de sondă*.

În procesul tehnologic de foraj, indiferent de scopul urmărit și utilajul folosit, se disting operații de bază și operații accesorii.

Operațiile de bază ale forajului sînt:

— forajul propriu-zis sau dislocarea rocii;

— spălarea găurii de sondă de sfărîmăturile rezultate în urma săpării;

— introducerea și extragerea garniturii de foraj (operații de manevră).

Operațiile auxiliare sînt:

— consolidarea pereților găurii de sondă sau tubajul, care se face cu ajutorul coloanei de tubaj, constituită din burlane de oțel;

— izolarea apelor sau cimentarea, în regiunile în care se forează, printre stratele străbătute existînd și strate acvifere, care trebuie izolate;

— instrumentațiile sau operațiile de rezolvare a accidentelor provenite din diverse cauze în timpul forajului.

Clasificarea forajului. După scopul pe care-l urmăresc, lucrările de foraj se pot clasifica în: foraj de prospecțiune; foraj de referință; foraj de explorare; foraj de exploatare; foraj pentru cercetări geotehnice; foraj hidrogeologic.

Forajul de perospecțiune servește la executarea găurilor de sondă necesare prospecțiunii geofizice, în special prospecțiunilor seismice.

Forajul de referință urmărește determinarea structurii geologice a unei regiuni.

Forajul de explorare se execută în regiunile în care prospecțiunile au dat indicații asupra existenței zăcămintelor de substanțe minerale utile.

Forajul de exploatare servește pentru exploatarea zăcămintelor de gaze, țiței, sare sau în alte scopuri (aeraj, rambleiere etc.).

Forajul pentru cercetări geotehnice servește la determinarea naturii terenurilor în vederea amplasării construcțiilor industriale, a lucrărilor edilitare, barajelor, tunelelor etc.

Forajul hidrogeologic se execută în scopul efectuării cercetărilor pentru alimentări cu apă, studiilor hidrogeologice, asecărilor și altor lucrări similare.

După modul în care se efectuează operațiile de bază, se deosebesc: forajul percutant și forajul rotativ.

Forajul rotativ se caracterizează prin aceea că mișcarea de rotație a sapei se realizează prin intermediul garniturii de foraj acționată de masa rotativă sau de dispozitivul de rotire în cazul sondezelor. Curățirea găurii de sondă de detritus se face în mod continuu, prin noroiul de foraj, care intră prin prăjini, trece prin orificiile uneltei de săpat și iese la suprafață prin spațiul inelar dintre prăjini și pereții găurii de sondă.

Forajul rotativ, datorită avantajelor pe care le prezintă față de forajul percutant, a ajuns să-l înlocuiască complet pe acesta din urmă în forajul de explorare.

3.3. SĂPAREA GĂURII DE SONDĂ. SAPE ȘI CAROTIERE

Dislocarea rocii în procesul de foraj, în funcție de scopul urmărit, se poate realiza pe întreaga secțiune a găurii de sondă sau numai pe secțiune inelară. Dislocarea sau tăierea rocilor din talpa găurii de sondă se realizează prin pătrunderea uneltei tăietoare în rocă în mod alternativ, în cazul forajului percutant, sau prin pătrunderea și rotirea concomitentă a uneltei tăietoare (sapă, carotieră) în rocă, în cazul forajului rotativ.

Dislocarea rocii pe întreaga secțiune se face cu ajutorul sapei de foraj, iar dislocarea pe secțiune inelară se realizează cu ajutorul carotierelor.

3.3.1. SAPE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul de explorare cu sondeze, scopul fiind acela de a extrage cît mai multe probe de teren, sapele sînt utilizate numai în cazuri speciale, cum ar fi: începutul forajului, lărgirea găurilor de sondă, controlul și curățirea găurilor de sondă, săparea unei porțiuni în care nu este nevoie să se extragă probe, la săparea găurilor de sondă pentru hidrocarburi sau surse naturale de apă.

O utilizare largă au sapele în forajul cu sondeze pentru scopuri geotehnice și hidrotehnice, la stingerea unor focuri subterane sau la rambleierea golurilor rezultate în urma exploatării, pentru găuri de control miniere, pentru executarea suitorilor etc.

După modul de acționare pe talpa găurii de sondă pentru dislocarea rocii, se deosebesc: *sape cu efect aschietor* (sape cu lame); *sape cu efect aschietor-despicător* (sape cu role) și *sape cu efect de roadere* (sape cu diamante).

În forajul cu sondeze se utilizează următoarele tipuri de sape: *sape cu lame* (sapa cu trei lame), *sape cu role* și *sape cu diamante*, cu dimensiuni corespunzătoare pentru forajul cu sondeze.

Tabelul XI.3

Sape cu 3 lame (STAS 108-74)

Diametrul sapei, D_s		Abateri	Diametrul nominal al filetului sapei cep sau mufă [mm]	Înălțimea sapei, H_s (informativă) [mm]	Masa sapei (informativă) [kg]
Nominal					
mm	în	în			
120,7	4 3/4				10
123,8	4 7/8		2 7/8 N		11
				270	
136,5	5 3/8				12
142,9	5 5/8				13
146,1	5 3/4			280	14
149,2	5 7/8				20
152,4	6		3 1/2 N		22
155,6	6 1/8			300	
158,8	6 1/4				
161,9	6 3/8				23
165,1	6 1/2				
168,3	6 5/8				
171,5	6 3/4				
184,2	7 1/4	0,8		305	24
187,3	7 3/8				
190,5	7 1/2			310	25
193,7	7 7/8			330	30
196,9	7 3/4			340	34
200,0	7 7/8		4 1/2 N	350	38
212,7	8 3/8				42
215,9	8 1/2				
219,1	8 7/8			370	43

În general, la alegerea tipului de sapă trebuie să se țină seama, în primul rînd, de caracterul formațiunilor în care se sapă.

În funcție de natura rocilor în care se forează, sapele sînt armate cu diverse materiale (aliaje) dure și cu diamante.

a. **Sape cu lame.** În forajul cu sondeze este întîlnită frecvent *sapa cu trei lame* (fig. XI.58), folosită ca sapă specială pentru lărgirea găurii de sondă, frezatul carotelor rămase în gaura de sondă și a cimentului din coloană. Dimensiunile acestei sape sînt date în tabelul XI.3.

Sape cu role. Se folosesc la forajul în roci tari și foarte tari. În timpul lucrului sapa se învîrtește și odată cu ea se învîrtesc și rolele care se rostogolesc pe talpa găurii de sondă. Dinții lovesc roca, o sfărîmă în bucăți, care sînt luate de curentul de noroi și aduse la suprafață. După modul de construcție al rolelor, dislocarea rocii pe talpa găurii de sondă se realizează ca urmare a acțiunii de așchiere și despicare produsă de rostogolirea pe talpa găurii de sondă și de tîrîre în același timp al rolelor,

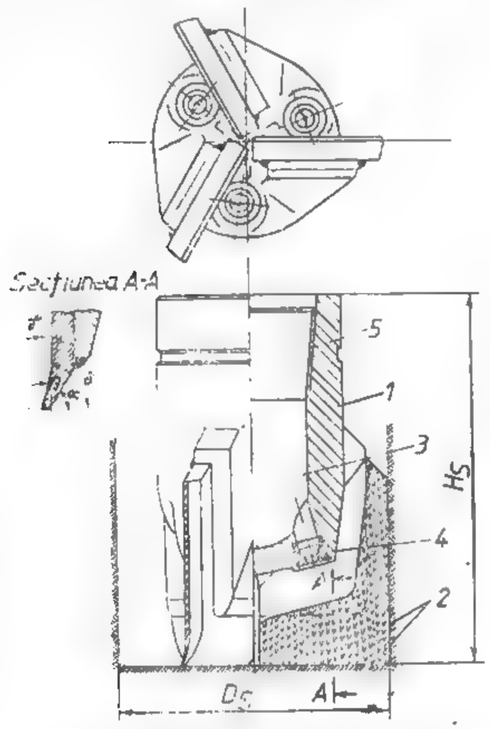


Fig. XI.58. Sapă cu trei lame:
1 — corp; 2 — muchii active; 3 — interior; 4 — duză; 5 — filet de legătură.

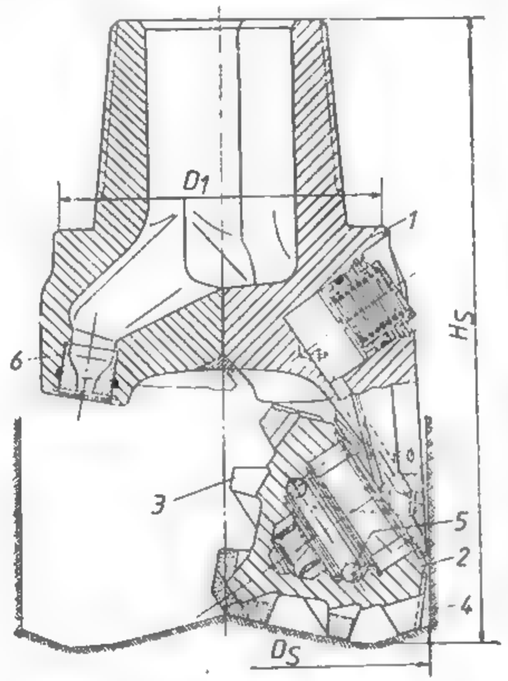


Fig. XI.59. Sapă cu trei role conice:
1 — falcă; 2 — con; 3 — dantură; 4 — contracon; 5 — lagăr; 6 — duză.

sau dislocarea are loc ca efect al despicării și sfărîmării. Profilul dinților diferă după tăria rocilor. Pentru rocile de tărie mijlocie, dinții sînt lungi și ascuțiți, iar pentru rocile tari și foarte tari sînt scurți și obtuzi.

Sapele cu role dau rezultatele cele mai bune în forajul rapid, cînd turația și apăsarea pe talpă sînt mari.

Sapele cu role se realizează într-o gamă largă de tipuri și dimensiuni, ceea ce le face propice pentru traversarea rocilor cuprinse în categoriile I—IX. Cele mai răspîndite sînt *sapele cu trei role conice*. Acest tip de sapă este alcătuit dintr-un corp masiv de oțel, prevăzut la partea superioară cu cep sau mufă, iar la partea inferioară cu 3 fălci în care se fixează în consolă axele pe care se rotesc rolele sapei (fig. XI.59). În comparație cu sapele cu lame, sapele cu role au o durată mai mare de funcționare, realizează găuri mai uniforme și permit mărirea vitezelor de foraj, fapt pentru care în ultima vreme ele le-au înlocuit aproape complet pe cele cu lame.

Tabelul XI.4.

Tipurile de sape cu trei conuri (role), în funcție de rocile în care se sapă

Tipul sapei	Roca	
	Rezistența la foraj și abrazivitate	Exemple (informativ)
S	Slabă (roci neconsolidate)	Argile și marne slabe, marne nisipoase neconsolidate, nisipuri neconsolidate etc.
SM	Slabă-medie (roci slab consolidate	Argile și marne consolidate, nisipuri slab consolidate, gips, sare breccifiată etc.
M	Medie (roci mediu consolidate)	Argile, marne nisipoase și nisipuri presate, sare masivă, gresii de tărie medie, conglomerate de tărie medie etc.
MA	Medie și abrazivă (roci mediu consolidate și abrazive)	Nisipuri presate abrazive, gresii de tărie medie abrazive, conglomerate de tărie medie abrazive etc.
MT	Medie tare (roci consolidate)	Marne nisipoase presate tari, gresii compacte, nisipuri presate tari etc.
MTA	Medie tare și abrazivă (roci consolidate și abrazive)	Gresii abrazive compacte, nisipuri silicioase consolidate etc.
T	Tare (roci consolidate tari)	Dolomite, calcare dolomitice, calcare grezoase, gresii compacte tari, conglomerate tari etc.
TA	Tare și abrazivă (roci consolidate tari și abrazive)	Calcare silicioase, gresii silicioase, conglomerate abrazive tari, dolomite abrazive etc.
TEA	Tare-extratare și abrazivă (roci consolidate tari-extratari și abrazive)	Gresii silicioase tari (gresia de Kliwa), calcare dolomitice silicioase, calcare cuarțitice, roci magmatice alterate etc.
EA	Extratare și abrazivă (roci consolidate extratari și abrazive)	Cuarțite, roci magmatice nealterate, bazalt, roci eruptive abrazive etc.

După caracterul rocilor în care se sapă, sapele cu conuri fabricate în România se execută în zece tipuri, conform tabelului XI.4, dimensiunile acestora fiind date în tabelul XI.5.

Tabelul XI.5

Dimensiunile sapelor cu trei conuri

Diametrul sapei D_s					Colonana de burlane care se sapă (informativ)		Colonana de burlane în care intră sapa (informativ)			Înșurubare filetată cu umăr cep, STAS 833/1-80	Masă sapei (informativ) kg			
Simbolul diametrului	Diametrul nominal	Abaterile limită	Diametrul găurii sapei D_s ±0,4	Înălțimea sapei (informativă) H_s	Diametrul exterior al. muflei	Diametrul exterior	Mărimea	Diametrul exterior	Diametrul interior minim		Variația		Cu construcțiune din	
											Normală	Cu spălare externă cu apă	aliaj dur	sinterizate
$3^3/_4$	95,3	+0,4	77,4	176	73,0	60,3	$2^3/_8$	114,3	99,6	$2^3/_8$ REG	4,5	—	4,8	
$4^1/_8$	104,8		104,4	183	22,9			127,0	108,6		5,0	—	5,5	
$4^1/_2$	114,3			194	95,2	73,0	5		118,6		5,5	—	6,3	
$4^5/_8$	117,5			198			$5^1/_2$	139,7	121,4	$2^7/_8$ REG	7,3	—	7,8	
$4^3/_4$	120,7			202					124,3		7,8	8,0	8,2	
$5^3/_8$	136,5			235		127,0		168,3	144,2		10,8	11	11,8	$4^1/_8$
$5^5/_8$	142,9			245			$6^5/_8$		147,1		12,0	12	12,3	
$5^3/_4$	146,1			250					150,4		12,1	12	12,7	
$5^7/_8$	149,1			250					153,7		12,2	13	13,5	
6	152,4			255		141,3			157,1		12,3	13	14,5	5
$6^1/_8$	155,6		104,4	260			7	177,8	159,4	3 REG	12,7	13	15,0	
$6^1/_4$	158,8			262					164,0		12,9	13	18,2	
$6^1/_2$	165,1			281			$7^5/_8$	193,7	168,3		14,0	14	21,0	
$6^3/_4$	171,5			281		153,7			177,0		17,5	20	26,8	
$7^3/_8$	187,3			290					190,8		22,8	27	30,0	
$7^1/_2$	190,5			322		187,7	$8^3/_8$	219,1	195,7		23,5	27	32,0	
$7^7/_8$	200,0			330					203,2		27,0	33	34,8	
$8^3/_7$	212,7		135,3	340					216,8	$4^1/_4$ REG	30,4	39	44,3	
$8^1/_2$	215,9			340		195,4			220,5		31,8	39	41,5	
$2^5/_8$	219,1			347			7		224,4		32,7	40	41,7	
$8^3/_4$	222,3			352		177,8			226,6		33,5	40	42,4	

Sape cu diamante. Sînt folosite în foraj la traversarea rocilor de categoriile VII—XII, în care nu se urmărește extragerea de carote, la devierea găurilor de sondă în roci foarte tari și extra tari, precum și la forajul găurilor de sondă pentru anumite scopuri în exploatările miniere.

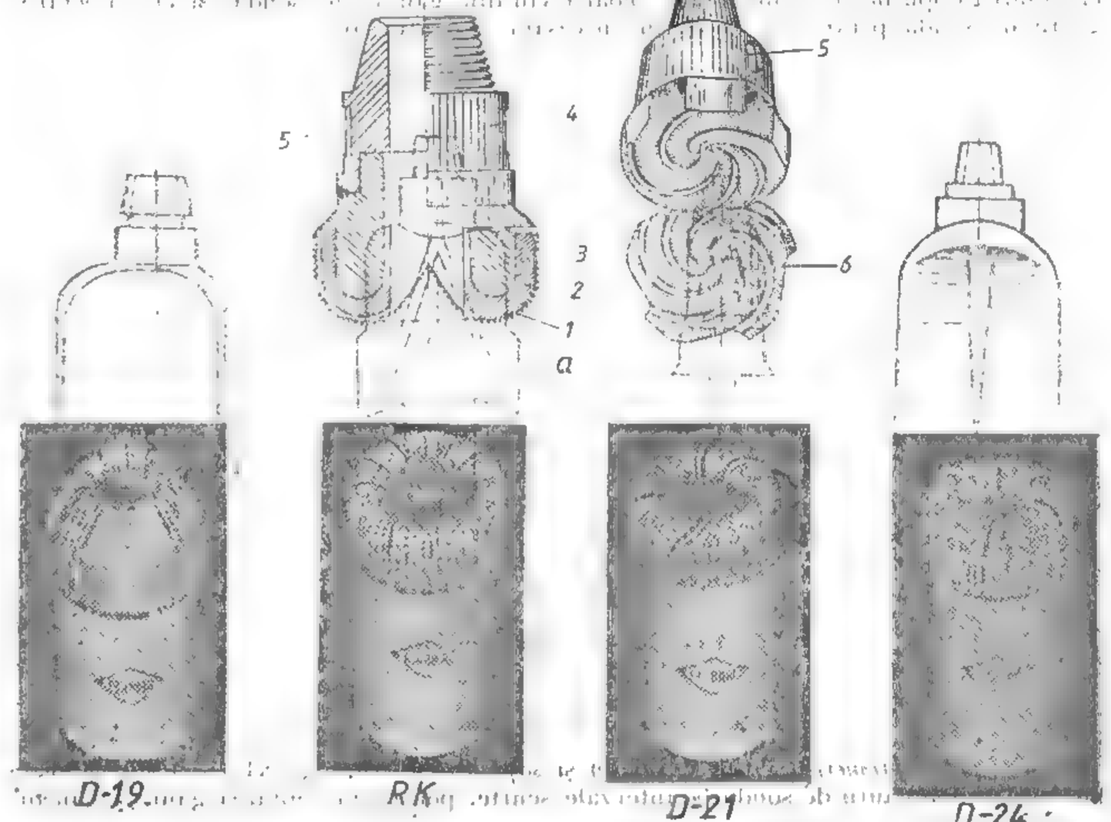


Fig. XI.60. Sape cu diamante:
a — elemente constructive: 1 — diamante; 2 — matrice (metal dur plantat cu diamante); 3 — micenii matricei (oțel cu conținut redus de carbon); 4 — corpul legăturii filetate (oțel aliat); 5 — locaș pentru strîngerea sapei; 6 — canale de circulație a lichidului de spălare; D-19, RK, D-21, D-24 — sape DIAROM pentru o rocă tot mai tare.

Tipurile constructive de sape cu diamante sînt foarte diferite, atît în ce privește forma geometrică a sapei cît și amplasarea diamantelor și a canalelor de circulație, urmărindu-se prin construcțiile respective rezolvarea cît mai bună a problemelor speciale de foraj. În fig. XI.60 se dau elementele constructive ale sapei cu diamante, cum și două tipuri folosite în roci de tărie diferită.

Caracteristicile principale de recunoaștere a diferitelor tipuri constructive sînt: căile de circulație drepte sau spirale, numărul, forma și poziția lor, suprafața de tăiere rotundă sau în formă de trepte a sapei

d. **Alte tipuri de sape folosite în forajul cu sondeze.** *Sapa lance* sau *sapa șpiț* este o sapă specială, folosită la instrumentații. Cu ea se execută pe talpa găurii de sondă o gaură conică, în interiorul căreia intră obiectele mici rămase la puț, în modul acesta putînd fi mai ușor prinse de sculele de instrumentație (fig. XI.61,*a*). De asemenea, se folosește pentru trecerea pe lîngă o garnitură rămasă în gaura de sondă, la frezarea dopurilor de ciment din coloană sau din gaura de sondă și la corectarea găurii de sondă pentru a-i da forma necesară centrării sapei.

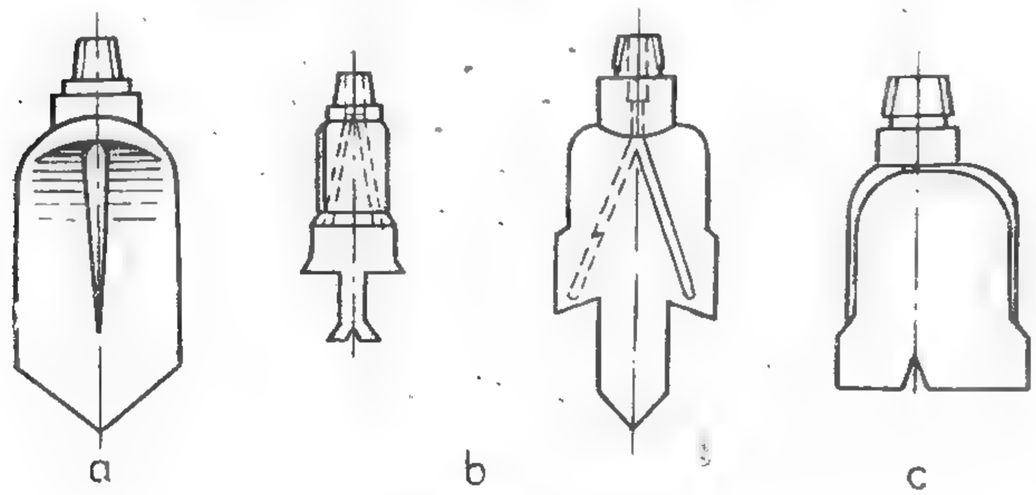


Fig. XI.61. Sape speciale

a — sapă cu lance; *b* — sapă cu premergător; *c* — sapă excentrică.

Sapa cu premergător (fig. XI.61,*b*) și *sapa excentrică* (fig. XI.61, *c*) sînt folosite pentru lărgirea găurii de sondă pe intervale scurte, pentru îndreptarea găurii și uneori pentru devierea neorientată a acesteia.

Sapa spirală se folosește pentru trecerea pe lîngă o garnitură rămasă la puț.

Sapa elicoidală se folosește în forajul dirijat.

Materiale pentru construcția sapelor și pregătirea lor pentru lucru. Sapele, fiind cel mai mult solicitate și expuse uzurii, se fabrică dintr-un oțel de calitate superioară.

Sapele cu role, fiind sape complicate din punct de vedere constructiv, trebuie verificate cu toată atenția, iar cînd se ajunge pe talpă, sapa nouă trebuie supusă unui rodaj de 20—30 min, cu apăsare mică și creștere treptată pînă la apăsarea recomandabilă pentru regimul de foraj.

Sapele cu diamante sînt recomandabile în rocile tari și foarte tari. Pentru asigurarea utilizării corecte a acestor sape, atenția trebuie să fie îndreptată asupra turației, apăsării pe talpă și debitului de foraj.

3.3.2. CAROTIERE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

Săparea pe secțiune inelară a tălpii găurii de sondă și extragerea probelor de teren din formațiunile străbătute de gaura de sondă se realizează cu instrumente speciale numite *carotiere mecanice*, iar probele extrase se numesc *carote*.

Extragerea probelor de teren cu ajutorul carotierelor se mai numește *carotaj mecanic*.

Carotierele mecanice pentru sondeze se clasifică în:

Carotiere normale
- simple
  - cu pereți subțiri (pînă la 3,5 mm);
  - cu pereți groși (peste 5,5 mm).
- duble
  - cu tub interior fix;
  - cu tub interior rotativ.

Carotiere speciale
- introductibile prin prăjini;
- pentru extras carote orientate;
- pentru extras probe laterale;
- hidropercutante;
- alte tipuri.

Conform STAS-ului în vigoare (1595/1—80) carotierele mecanice normale se clasifică în:

Carotiere mecanice normale
- simple
  - tip G
  - tip T
- duble
  - cu tub interior rigid (grupa 1)
    - tip G
    - tip T
  - cu tub interior rotitor (grupa 2)
    - tip G
    - tip T
    - tip M
    - tip F

Tipul G de carotieră simplă sau dublă se caracterizează prin aceea că efortul de rupere se preia exclusiv de tubul exterior, prin montarea reținătorului de probă în coroană, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lîngă carotă.

Tipul T de carotieră este similar cu tipul G, avînd însă diametrul probei extrase mai mare prin micșorarea grosimii tubului carotier.

Tipul M este o carotieră dublă la care efortul de rupere se preia exclusiv de tubul interior, prin montarea în interiorul acestuia a reținătorului de probă prin intermediul unei casete, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lîngă probă (descărcare laterală).

Tipul F de carotieră dublă este similar cu tipul *M*, însă spălarea tălpii găuri de sondă se face prin coroană (descărcarea frontală).

Carotiere normale simple. Carotierele simple sînt cele mai folosite în forajul de explorare. La o carotieră simplă se disting următoarele părți: coroana carotierei *1*, reținătorul de probă (carota) *2*, manșonul alezor *3*, tubul exterior *4* și reducția superioară *5* (fig. XI.62).

Coroana carotierei sau freza se înșurubează la tubul carotier prin intermediul unei reducții care constituie caseta sau locașul prinzător de carotă. Înșurubarea la prăjina de foraj se face folosind reducția superioară *5*. Lungimea tubului carotier este, de obicei, de 3 m; însă se pot folosi și tuburi mai scurte sau mai lungi.

Tabelul XI.6

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice simple

Carotiere	Diam. ext. al capului (mm)	Tipul capului	Diametrul exterior, *D*, al carotierei (mm)	Filetul de legătură la prăjini	Diametru carotei	Lungimea carotierei, *L* (mm)	Lungimea de carotaj
EWG	37,46	Cu diamante, cu știfturi sau cu plăcuțe	36	EW	21,34	1788 3288	
AWG	47,75		46	AW	29,27	1840 3340	1500 3000
BWG	59,69		58	BW	41,91	1815 3315	
NWG	75,44		74	NW	54,61	1832 3332	
BWT	59,69		59	BW	43,32	1072 1822 3322	750 1500 3000
NWT	75,44		74	NW	58,62	1836 3336 4836	1500 3000 4500
HWT	98,98		97	HW	80,82	1873 3373 4873	

În tabelul XI.6 se dau caracteristicile tehnice ale carotierelor normale simple.

Carotiere normale duble. Forajul cu carotiere simple prin roci dezagregate, nisipoase sau care se spală, nu asigură întotdeauna recuperarea de carotă corespunzătoare sau carota extrasă nu corespunde în întregime cerințelor geologice, întrucît roca este puternic frecată, murdărită și cu structura deranjată.

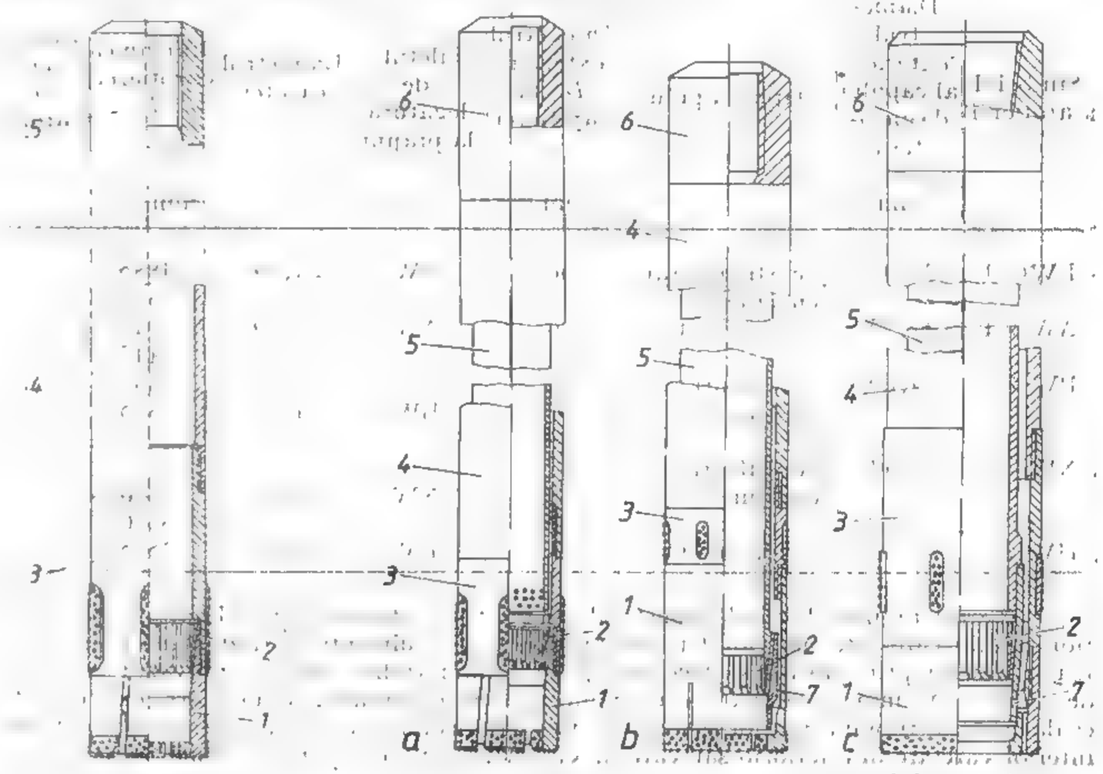


Fig. XI.62. Carotieră mecanică normală simplă tip C și T.

Fig. XI.63. Carotiere mecanice normale duble

a — tip G și T cu tub interior rigid sau rotitor; *b* — tip M cu tub interior rotitor; *c* — tip F cu tub interior rotitor; *1* — coroană; *2* — reținător de probă; *3* — manșon alezor; *4* — tub exterior; *5* — tub interior; *6* — reducție superioară; *7* — caseta reținătorului de probă.

Din aceste motive, la forajul prin roci dezagregate este necesar să se folosească carotiere duble, care sînt astfel construite încît înlătură contactul dintre carotă și fluidul de foraj. În principiu, o carotieră dublă constă din două carotiere simple concentrice. La acest tip de carotieră noroiul de foraj trece din prăjină prin spațiul inelar dintre cele două carotiere, ocolind astfel carota care se găsește în carotiera interioară.

Din punct de vedere constructiv există multe tipuri de carotiere duble, care se perfecționează continuu. După principiul de funcționare și după construcție, acestea se pot împărți în două categorii:

— carotiere duble cu tubul interior *fix* (fig. XI.63, *a*);

— carotiere duble cu tubul interior *rotitor* (fig. XI.63, *b* și *c*; tabelul XI.7).

Carotiere speciale. *Carotiera introductibilă prin prăjini.* Prin construcția și modul său de lucru, această carotieră elimină marșurile de introducere și extragere a prăjinilor și astfel crește timpul productiv de lucru.

Tabelul XI.7

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice duble

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră	Tipul capului	Dimaetrul exterior, *D*, al carotierei	Filetul de legătură la prăjini	Diametrul carotei	Lungimea carotierei, *L*	Lungimea de carotaj
	mm		mm		mm		
EWG-1	37,46	cu știfturi sau cu lame	36	EW	21,34	1835 3335	
AWG-1	47,75	cu diamante	46	AW	29,9	1915 3415	
BWG-1	59,69	cu știfturi sau cu diamante	58	BW	41,9	1835 3335	1500 3000
NWG-1	75,44	cu știfturi sau cu lame	74	NW	54,6	1870 3370	
HWG-1	98,98	cu diamante	95	HW	76,07	3535	

Carotiera introductibilă constă dintr-un tub exterior (fig. XI.64) și unul interior rotativ care este suspendat pe un ansamblu de rulmenți. Introducerea și extragerea carotierei prin prăjini se face cu ajutorul unui troliu mecanic prevăzut cu cablu de Ø 4—5 mm, acționat de un motor. După executarea unui marș de lungime egală cu cea a tubului interior se extrage, fără ajutorul unei corunci cu geală, numai tubul interior care are în interiorul său carota. Carotiera este echipată cu scule de manevră, montaj și reglaj.

În tabelul XI.8 sînt date caracteristice tehnice ale carotierelor introductibile pentru sondeze.

Tabelul XI.8

Caracteristici tehnice ale carotierelor introductibile

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră, *D*	Lungimea carotierei, *L*	Filetul mufei de legătură la garnitura de prăjini	Diametrul probei	Lungimea de carotaj
	mm			mm	
AI	46,07	2370 sau 3870	AQ	27	1500 sau 3000
BI	57,2	2380 sau 3880	BWL	36,27	
NI	73,0	2455 sau 3955	NWL	47,50	
HI	92,1	4065	HWL	63,37	3000

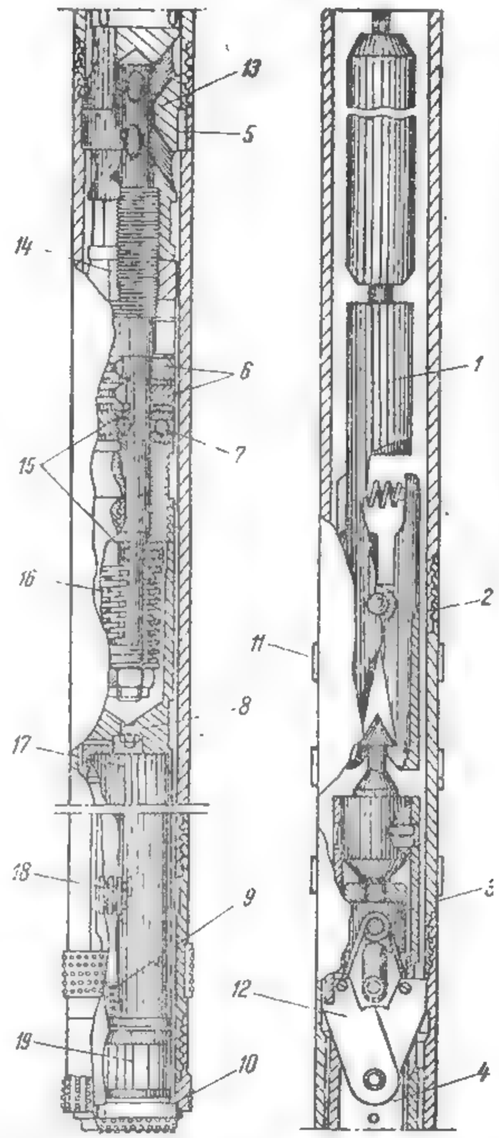


Fig. XI.64. Carotieră introductibilă prin prăjini seria Q:

1 — coruncă; *2* — mufa reducției superioare cu filet *3* — arcul clicheților; *4* — suportul clicheților; *5* — prag de fixare; *6* — garnituri de semnalizare; *7* — ax cu rulmenți; *8* — gresor; *9* — inel opritor al arcului reținător de probă; *10* — secțiunea interioară a coroanei; *11* — suprafață tratată cu aliaj de bor; *12* — clicheți; *13* — umărul de fixare al ansamblului interior; *14* — piuliță de reglaj a spațiului dintre sabotul piesei port-arc și umărul interior al coroanei; *15* — rulmenți axiali; *16* — arc de compresie; *17* — tub interior; *18* — centror; *19* — arc prinzător de probă.

3.3.3. COROANE SAU CAPETE DE CAROTIERĂ

Coroana, sau capul de carotieră, numită și *frezd*, execută tăierea rocii pe spațiul inelar. Ea are forma unui cilindru gol, cu grosimea peretelui de 6—22 mm și cu înălțimea o dată sau de două ori cît diametrul coroanei.

Coroana este prevăzută la capătul de sus cu un filet dreptunghiular (dreapta) și cu opt spire pe țol, pentru a se putea înșuruba la tubul carotierei, iar capătul de jos este neted sau prevăzut cu dinți pentru a se putea fixa armătura respectivă.

După natura rocilor în care se sapă și după sistemul de foraj, se disting (fig. XI.65, *a, b, c, d, e, f* și *g*):

— coroane armate cu aliaje dure (carburi metalice);

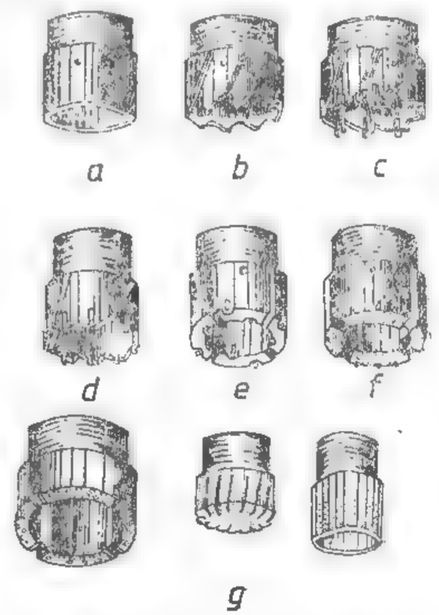


Fig. XI.65. Coroane de carotiere:

a — nearmată; *b* — dințată nearmată; *c* și *d* — armate cu aliaje dure; *e* și *f* — armate prin ciocănire și sudură; *g* — cu inserții de diamante.

coroane cu diamante;

— coroane cu armătură mixtă (carburi metalice și diamante).

Coroanele se construiesc de obicei din burlane de oțel cu rezistența la rupere pe 40 daN/mm², cu un conținut de carbon de 0,3—0,4%.

Dimensiunile duzelor ale coroanelor folosite în forajul de explorare sînt date în tabelul XI.9.

Tabelul XI.9

Date tehnice privind coroanele cu diamante, alezoare și carotiere

Simbolul carotierei	Simbolul coroanei	Diametrul tăietor al coroanei: Exterior, mm	Diametrul tăietor al coroanei: Interior, mm	Diametrul exterior al manșonului alezor, mm
		A. Simple		
BSV	E	36	22	36,4
CSV	A	46	32	46,4
DSV	B	59	42 (40)	59,4
ESV	N	76	53	76,4
ESV	H	93	68	93,4
FSV	He	98	68	98,4
GSV	P	112	88	112,4
GSV	Pc	120	88	120,4
		B. Duble		
EDV	N	76	44	—
FSV1	H	93	60	—
GDV	P	112	78	—
		C. Seria D-3		
AXD	AXD-3	47,6	28,7	48
BXD	BXD-3	59	40,9	59,1
NXD	NXD-3	76	52,2	76,1
NCD	NCD-3	93	61,1	93,4
		D. Seria Q		
AQ	AQ	47,6	26,9	48
BQ	BQ	59	36,3	59,4
NQ	NQ	76	47,5	76,4
HQ	HQ	98	63,5	98,4

Față de dimensiunile arătate în acest tabel se admit toleranțe de ±20 mm. Aceste toleranțe sînt admise și pentru tăișurile aliajelor dure.

Pentru circulația noroiului la talpa găurii de sondă, coroanele sînt prevăzute cu mai multe canale interioare drepte sau înclinate.

a. Coroane cu aliaje dure. Coroana cu inserții de materiale dure este constituită dintr-o piesă cilindrică de oțel, prevăzută la partea superioară cu cep sau mufă pentru

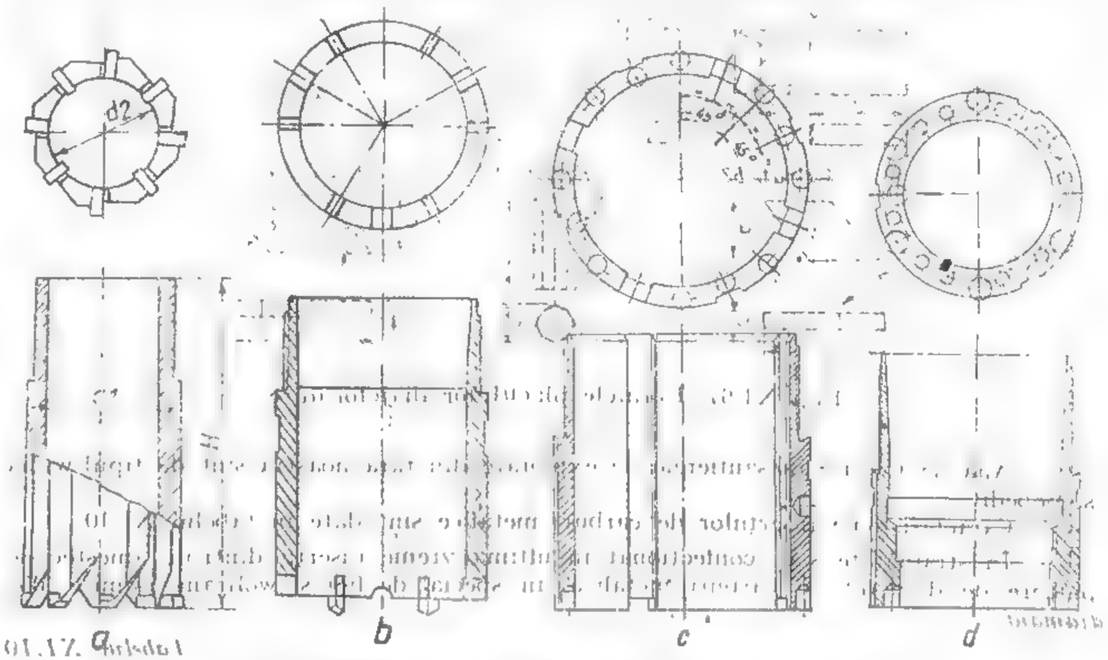


Fig. XI.66. Coroane de carotieră armate cu aliaje dure:

a — coroană cu paleți; *b* — coroană simplă cu plăcuțe insertate la distanțe egale; *c* — coroană simplă cu plăcuțe insertate în sectoare; *d* — coroană dublă, monobloc, cu descărcare frontală și cu plăcuțe insertate în sectoare.

înfiletarea sa la carotieră — fie direct, fie prin intermediul unui niplu — iar la partea inferioară, o dantură — fie sub formă de paleți tăiați în corpul cilindric, fie locașuri cilindrice, pe diametrul interior și exterior și pe care, respectiv în care, se fixează plăcuțele de aliaje dure (fig. XI.66). Prin canale tăiate pe fața frontală de atac la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele duble se asigură circulația fluidului de foraj la talpă.

Coroanele cu paleți se folosesc în roci de categ. I—IV, putînd avea 4, 6 sau 8 paleți, iar cele cu dantură insertată în roci de categ. IV—VIII.

Aliajele dure folosite pentru armarea coroanelor în forajul cu sondeze sînt aliaje metaloceramice. Plăcuțele de aliaje dure pot fi rombice, trapezoidale, dreptunghiulare sau octogonale (fig. XI.67).

Pentru aplicarea plăcuțelor de aliaje dure se marchează pe talpa coroanei locașurile pentru plăcuțe, care se execută prin sfredelire sau prin pilire. Adîncimea locașurilor trebuie să fie astfel aleasă încît plăcuța să rămînă deasupra feței

coroanei, pe o porțiune care să permită ascuțirea ei. Lipirea se face cu aramă, în cazul cînd se dispune de un cuptor cu păcură sau electric și cu alamă, folosind pentru lipire lampa cu benzină.

Pentru rocile moi ascuțirea plăcuțelor se face la un unghi de 44—55°, iar pentru rocile mai tari și fisurate la un unghi de 60—65°.

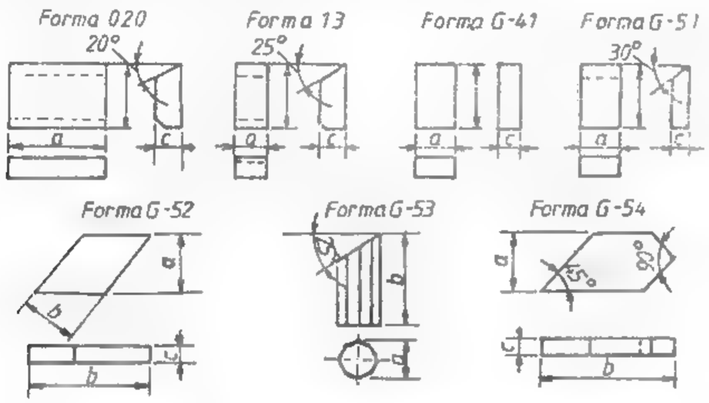


Fig. XI.67. Formele plăcuțelor aliajelor dure.

Aliajele folosite în șantierele de explorare din țara noastră sînt de tipul widia și pobedit.

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice sînt date în tabelul XI.10.

În străinătate s-au confecționat în ultima vreme inserții dintr-un amestec de pulbere de diamant cu carburi metalice, în special de fier și wolfram, numite *Widiamant*.

Tabelul XI.10

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice

Varietatea de Pobedit	Conținutul de metale rare		Proprietăți fizico-mecanice			
	Cobalt	Carburi de wolfram	Rezistența la încovoiere [daN/cm²]	Duritatea Rockowell (HRC) după scara C	Greutatea specifică [daN/dm³]	Corespondența cu varietatea de material dur după normele DIN
VK-2	2	98	100	90,0	15,0...15,4	—
VK-3	3	97	100	89,0	14,9...15,3	H_1
VK-6	6	94	120	88,0	14,6...15,0	G_3
VK-8	8	92	130	87,5	14,4...14,8	G_1
VK-10	10	90	135	87,0	14,2...14,6	S_2
VK-11	11	89	150	86,0	14,0...14,4	—
VK-15	15	85	160	86,0	13,9...14,1	—

Carburile metalice se aleg în funcție de natura rocilor. Astfel, pentru forajul în roci moi și semitari (categoriile I—IV) se folosesc inserții de carburi metalice de forma G-413, G-414, G-514 și G-515, pentru forajul în roci tari (categoriile V—VI) inserții de forma G-511, G-512 și G-513, iar pentru roci foarte tari (categoriile VII—VIII) inserții de forma G-531 și G-533.

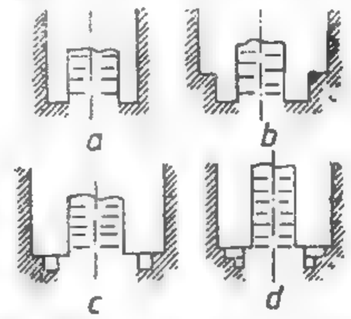


Fig. XI.68. Schema profilului tălpii găurii de sondă:

a — drept; *b* — cu două trepte; *c* — cu două trepte simetrice; *d* — cu trei trepte.

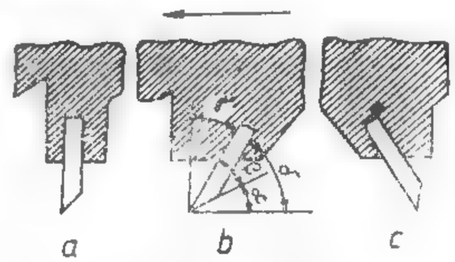


Fig. XI.69. Schema de fixare a inserțiilor în coroană:

a — inserție verticală; *b* — inserție înclinată sub un unghi pozitiv; *c* — inserție înclinată sub un unghi negativ.

Aliajele dure se insertează pe unul, două sau trei rînduri.

Elementele noi care au survenit în construcția coroanelor cu aliaje dure constau, pe de o parte, în folosirea inserțiilor de dimensiuni mici care realizează suprafețe inelare de tăiere mici și în consecință viteze mari de avansare, iar pe de altă parte, așezarea inserțiilor la diferite nivele față de capul coroanei, ceea ce permite crearea de suprafețe de tăiere în trepte, obținîndu-se în felul acesta o dislocare mai ușoară a rocii (fig. XI.68).

Un alt element este așezarea inserțiilor sub unghiuri negative (mai mari de 90°). În felul acesta inserțiile se distrug mai puțin și au o uzură mai mică. Unghiurile notate în figură au următoarea semnificație: δ — unghiul de tăiere; γ — unghiul de atac; α — unghiul de așezare a inserției și β — unghiul de ascuțire a inserției (fig. XI.69)

Regimul de foraj pentru coroanele cu aliaje dure. În forajul cu aliaje dure, corelarea apăsării pe talpă cu turația și cu debitul fluidului de foraj variază în limite foarte largi, în funcție de natura rocilor în care se forează. Variația acestor parametri în funcție de tăria rocilor este dată în tabelul XI.11.

Apăsarea axială totală. Este egală cu produsul dintre numărul de inserții al coroanei și forța de apăsare. Se recomandă ca apăsarea pe o inserție să fie mai mare decît produsul dintre suprafața de contact a inserției cu roca și rezistența rocii la strivire. Dacă nu este îndeplinită această condiție, fie că se va produce o zgîrîiere a rocii și o uzură pronunțată a coroanei, fie că va avea loc o spargere și o desprindere a inserțiilor dacă apăsarea este prea mare. În fig. XI.70 se arată influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj.

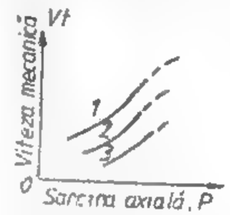


Fig. XI. 70. Influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj:

1 — condiții ideale; *2* și *3* — cu spălare insuficientă.

În practica explorărilor de pînă acum s-a calculat apăsarea pe talpă de 100—120 daN pe un dinte în formă de placă la forarea în rocile mai tari și de 50—80 daN pe un dinte la forarea în roci de tărie mijlocie. În roci moi, argiloase, apăsarea pe un

dinte scade și mai mult. În tabelul XI.12 este dată valoarea apăsării axiale necesară în forajul cu carburi metalice în funcție de diametrul găurii și de tăria rocilor în care se forează.

Tabelul XI.11

Parametrii specifici ai regimului de foraj cu carburi metalice

Parametrul	În roci moi I–IV	În roci tari V–VI	În roci foarte tari VII
Apăsarea pe un dinte, daN	40–60	80–100	120
Viteza periferică, m/s	1,5–2,00	2,0–1,5	1,0
Debitul fluidului de foraj (l/min) pentru 1 cm din diametrul capului de carotieră	12–14	14–12	12–10

Turația și viteza medie periferică a coroanei se stabilesc cu relația:

$$v = \frac{\left(\frac{D+d}{2}\right)n}{60} \quad [m/s]$$

în care D este diametrul exterior de tăiere al coroanei, m;

d — diametrul interior de tăiere al coroanei, m;

n — turația garniturii, m/min;

v — viteza medie periferică a coroanei, m/s.

Viteza periferică ce se recomandă pentru coroanele cu aliaje dure variază între 1 și 2 m/s, după natura rocii, așa cum rezultă din tabelul XI.13.

Tabelul XI.12

Apăsarea axială necesară în forajul cu carburi metalice

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categoria de tărie a rocilor I–IV	V–VI	VII
46	—	300–350	400
59	—	350–400	500
76	—	480–600	750
93	—	650–800	1000
98	250–350	—	—
112	—	800–1000	1200
120	400–600	—	—
152	—	1200–1400	1500

Influența turației asupra vitezei mecanice. Din încercările de laborator, în care sarcina axială și debitul de spălare s-au menținut constante și turația a fost variată astfel încît viteza periferică să fie de 50–360 cm/s, rezultă că:

— adîncimea de pătrundere se menține, practic, constantă cînd n crește, iar cînd $n > n_c$ (turația critică) uzura crește mult mai repede decît n.

Influența debitului de noroi asupra vitezei mecanice. La forajul fără carotaj, viteza de foraj crește proporțional cu debitul Q (fig. XI.71). La forajul cu carotaj continuu, debitul necesar este mult mai mic, deoarece:

— volumul de rocă dislocată este mai mic, cel mult 3/4 din volumul găurii de sondă.

În general, se recomandă ca cifră orientativă debitul de 10–12 l/min pentru un centimetru din diametrul coroanei.

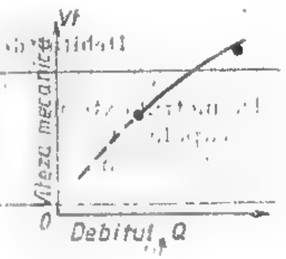


Fig. XI.71. Influența debitului de noroi Q, asupra vitezei mecanice de foraj.

În ultimii ani, pe șantierele noastre s-a extins mult forajul cu diamante, prin care se realizează o viteză mecanică medie mult sporită față de forajul cu alice sau cu widia în rocile de categoriile VII–XII.

Valoarea debitului de fluid de foraj în funcție de diametrul coroanei și de tăria rocilor este redată în tabelul XI.14.

b. **Coroane cu diamante.** Coroanele cu diamante au ca elemente constructive (fig. XI.72):

— corpul de oțel *1* prevăzut cu filet la partea superioară;

— matricea *3* în care sînt fixate diamantele *4* și care dă forma coroanei. Matricea este constituită dintr-o pulbere de material dur, rezistent la abraziune, din care se face o pastă în care se aplică diamantele și apoi se încălzește în cuptoare speciale la o anumită temperatură;

Tabelul XI.13

Turația necesară la forajul cu carburi metalice [cm/s]

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categoria de tărie a rocilor I–IV	V–VI	VII
46	—	800–600	400
59	—	600–450	300
76	—	500–375	250
93	—	400–300	200
98	300–400	—	—
112	—	—	175
120	250–300	—	—
152	—	250–150	125

— inelul de oțel *2* care face legătura între corpul de oțel *1* și matricea *3*.

Elementele funcționale ale capetelor de carotieră cu diamante sînt: filetul de legătură *5*, pentru racordarea la carotieră, locașul *6* din corpul metalic al sculei, nutul sau briciul, marginea carotierei *7* (de calibrare), suprafața de tăiere *8* (sectoare cu diamante), canalele de circulație *9*, orificiile pentru descărcarea fluidului *10* și degajările *11*.

După modul de aranjare a diametrelor pe fața frontală, coroanele cu diamante pot fi:

— cu un singur strat de diamante;
— cu mai multe straturi de diamante;
— cu diamante impregnate (cu spărturi de diamante).

Tabelul XI.14

Debitul de fluid necesar la forajul cu carburi metalice (l/min)

Diametrul exterior al capului de carotieră, mm	Categoria de tărie a rocilor		
	I—IV	V—VI	VII
46	—	65—55	50
59	—	80—70	60
76	—	100—90	80
93	—	130—110	95
98	120—140	—	—
112	—	155—135	120
120	140—165	—	—
152	—	210—180	160

La executarea coroanelor cu diamante se folosesc diamante industriale. Există trei varietăți de diamante folosite în scopuri tehnice:

— varietatea *carbonado* sau *diamentul negru:*
— varietatea *ballas:*
— varietatea *boart, bort, bortz.*

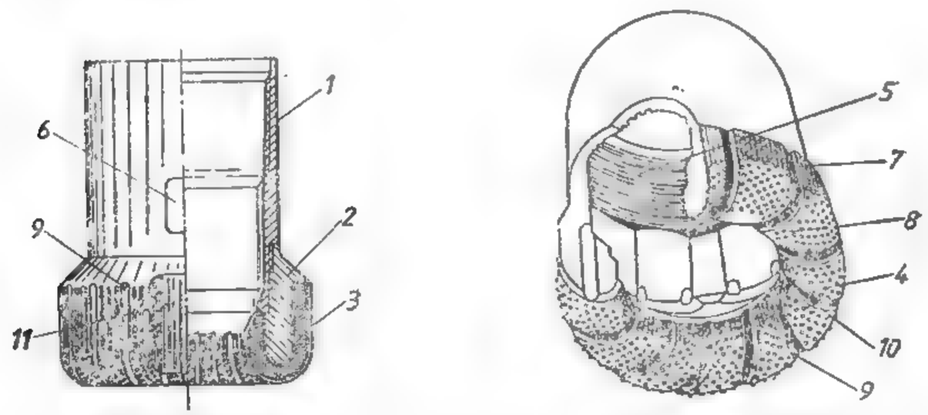


Fig. XI.72. Elementele constructive și funcționale ale coroanei cu diamante.

Diamantele *carbonado* sînt lipsite de porozitate și clivaj și se caracterizează prin rezistență mare la uzură și la șocuri. Se utilizează pe scară redusă la foraj și numai în cazul rocilor foarte tari și abrazive, fiind foarte scumpe.

Diamantele *ballas* sînt de asemenea lipsite de porozitate și se prezintă sub forme aproape sferice. În jurul miezului au un înveliș tare, ce le face apte pentru forajul în roci tari și abrazive.

Diamantele *boart* sînt mai puțin rezistente decît varietățile de carbon și ballas. Denumirea de boart se dă pentru toate sorturile de diamante cu structură cristalină paralelă și forme neregulate, nefolosite ca bijuterii. Reprezintă varietatea diamantelor

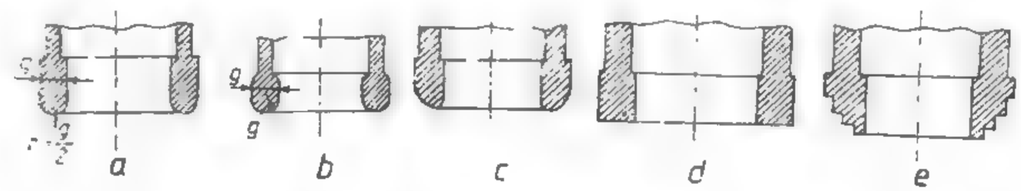


Fig. XI.73. Diferite profile ale coroanelor cu diamante.

cu cele mai largi utilizări în tehnica forajului. Se mai numesc și *boarturi sparte*. Sînt ieftine și se pretează la fabricarea coroanelor impregnante.

Un element important în construcția coroanelor cu diamante este forma profilului coroanei (fig. XI.73). Cele mai folosite profiluri în forajul de explorare sînt:

— *profilul rotund*, cu raza de curbură aproximativ egală cu jumătatea grosimii peretelui coroanei (fig. XI.73, *a*);

— *profilul semirotund*, cu raza de curbură a feței frontale egală cu grosimea pereților coroanei (fig. XI.73, *b*);

— *profilul cupolă*, cu o rază mare de rotunjire la exterior și mai mică la interior. Acest profil este indicat să fie utilizat la traversarea formațiunilor mai puțin tari și cu tendințe de deviere (fig. XI.73, *c*);

— *profilul plat*, cu fața frontală plată și marginile ușor rotunjite. În terenurile abrazive diamantele se uzează repede, din care cauză apare și instabilitatea pe talpă și tendința de deviere (fig. XI.73, *d*);

— *profilul în trepte*, cu forma în trepte a suprafeței frontale, fiecare treaptă depășind pe cea următoare cu cîțiva milimetri. Această formă asigură o bună centrare a carotierei pe talpă (fig. XI.73, *e*).

Alte profile se confecționează și se utilizează în condiții specifice de lucru, cum ar fi forajul în roci friabile, sfărîmicioase etc.

Ca și coroanele cu vidia, coroanele cu diamante se construiesc pentru lucru cu carotiere simple și carotiere duble. La coroanele pentru carotiera dublă circulația fluidului de foraj la talpa găurii de sondă se face prin orificii ce trec prin fața frontală a coroanei, evitîndu-se în felul acesta spălarea probei de rocă la talpă.

O coroană cu diamante se caracterizează prin diametrul exterior, diametrul interior de tăiere a probei, mărimea diamantelor, tăria matricei, profilul coroanei, numărul de canale și forma acestora, caratajul coroanei (greutatea în grame a diamantelor cu care a fost insertată coroana) și seria sa. În forajul de explorare cu sondeze, cel mai des folosite sînt coroanele cu diametrul exterior de 37 mm, 46 mm, 59 mm, 76 mm și 93 mm (v. tabelul XI.15).

La baza filetului fiecărei coroane este marcată fabricația coroanei (Diarom, Cristensen etc.), iar prin litere se indică țara matricei și seria coroanei. În fig. XI.74 se dau cîteva tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație indigenă DIAROM.

În tabelul XI.15 sînt date tipurile de coroane și manșoane alezoare armate cu diamante sau cu carburi metalice și dimensiunile acestora, conform STAS 1595/1-80.

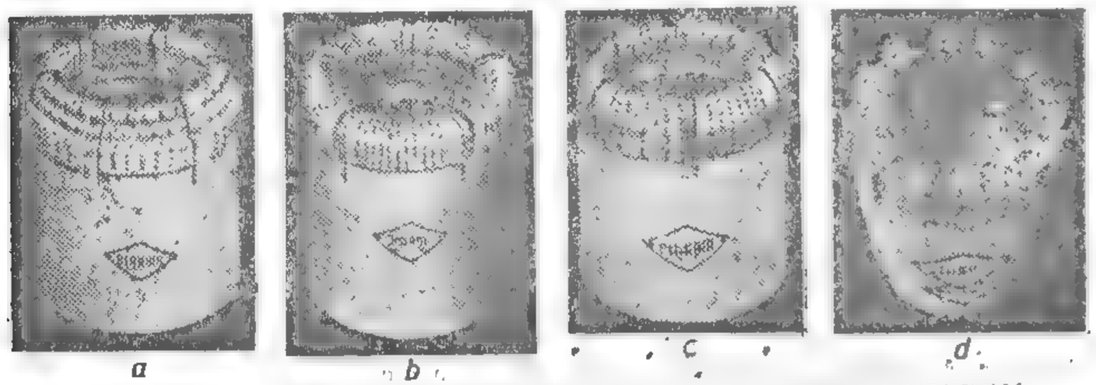


Fig. XI.74. Tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație DIAROM:
a — coroană insertată cu profil în trepte; b — coroană insertată cu profil W; c — coroană insertată cu profil E; d — coroană insertată tip Alfa

Procesul dislocării rocilor în forajul cu diamante și regimul de foraj. Procesul dislocării rocilor de către coroanele cu diamante se poate compara cu dislocarea prin așchiere, pe care o realizează frezele cu inserții cu unghi negativ. Date fiind dimensiunile reduse ale elementelor active, procesul de dislocare a rocilor de către coroane cu diamante este, de fapt, o dislocare prin presare și zgîriere.

Asimilînd procesul de dislocare cu un proces de așchiere, fiecare diamant joacă rolul unui cuțit.

După experiențele efectuate în roci de natură diferită, s-au tras următoarele concluzii

— viteza de avansare crește cu numărul de rotații n;

— consumul de diamante este minim cînd turația este în jurul a 1 000 rot/min;

— o turație prea ridicată sau o apăsare prea mică este dezavantajoasă, deoarece se polizează diamantele fără a realiza o avansare corespunzătoare;

— viteza de avansare depinde de caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor traversate și este cu atît mai mare cu cît coroana conține mai multe diamante.

În fig. XI.75 este reprezentată variația vitezei în funcție de sarcina axială obținute la forajul cu coroane cu diamante în șisturi cloritoase.

După experiența din șantierele noastre, viteze bune de foraj se obțin cu următorul regim de foraj:

— apăsarea 11—25 daN/carat pentru coroanele monostrat și 50 daN/carat pentru coroanele polistrat;

— turația 100—880 rot/min;

— debitul 4—5 l/min de fiecare centimetru de diametru al coroanei.

Tabelul XI.15

Coroane și manșoane alezoare armate cu diamante sau cu carburi metalice

Simbolul diametrului nominal		Diametrul exterior max/min [mm]		Simbolul carotierei la care se utilizează coroana			
		Coroană	Manșon alezor	WT	WG	WM	WT
	E	37,46	37,85	—	EWG	EWM	EWT
		37,21	37,59	—			
	C	46,10	46,50	—		—	—
		45,90	46,30				
	A	47,75	48,13	—	EWG	AWM	AWT
		47,50	47,88				
	D	59,10	59,50	—	—	—	—
		58,90	59,30				
	B	59,69	60,07	—	BWG	BWM	BWT
		59,44	59,82				
	J	76,10	76,50	—	—	—	—
		75,90	76,30				
	N	75,44	75,82		NWG	NWM	NWT
		75,18	75,56				
	K	93,10	93,50	—	—	—	—
		92,90	93,30				
	L	112,10	112,50	—	—	—	—
		111,90	112,30				
	P	120,27	120,78	PWT	—		
		119,76	120,40				
	V	152,10	152,50		—	—	—
		151,90	152,30				

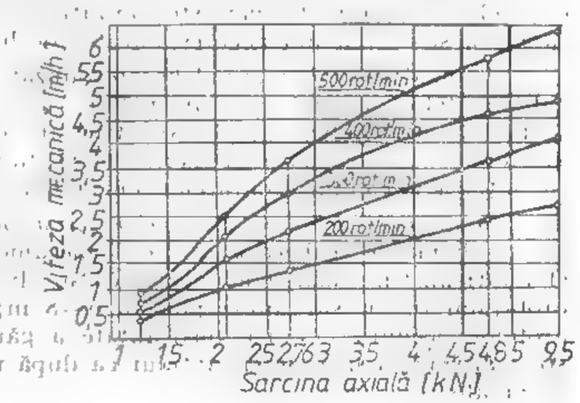


Fig. XI.75. Viteza mecanică în funcție de sarcina axială în forajul cu diamante în șisturi cloritoase.

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru coroanele cu diamante este dată în tabelul XI.16.

Consumul de diamante (uzura). Uzura coroanelor cu diamante se exprimă în carate. Ea se datorește frecării și șocurilor. În terenuri omogene are loc uzura prin frecare.

Tabelul XI.16

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru coroanele cu diamante

Dimensiunea și tipul coroanei [mm]	Apăsarea [daN]		Turația [rot/min]		Debitul [l/min]	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
112 × 88 insertate	1000	2000	170	330	120	190
impregnate	1400	2500	170	170	120	190
93 × 68 insertate	800	1700	210	410	75	110
impregnate	1100	2200	210	410	75	110
93 × 40 insertate	1000	2200	210	410	75	110
impregnate	1400	2400	210	410	75	110
76 × 53 insertate	700	1500	250	500	40	60
76 × 44 insertate	700	1500	250	500	45	70
impregnate	1000	1800	250	500	45	60
59 × 42 insertate	600	1000	320	650	30	40
impregnate	800	1300	320	650	30	40
46 × 32 insertate	500	800	310	820	20	30
impregnate	700	1000	410	820	20	30

Apăsarea minimă este dată pentru coroanele cu diamante cu granulație mare, iar apăsarea maximă pentru coroanele cu diamante cu granulație mică.

Uzura prin șocuri are loc atunci cînd se forează în terenuri eterogene, fisurate, cu alternanțe de roci tari și moi și în strate cu înclinare mare.

În afară de proprietățile fizico-mecanice ale rocilor prin care se forează, uzura coroanelor cu diamante mai este cauzată de construcția și metoda de executare a coroanei ca și de regimul necorespunzător de lucru.

În mod special, regimul necorespunzător de lucru conduce la o uzură prematură a diamantelor cauzată în principal de: necurățirea tălpii găurii de sondă înainte de începerea carotajului, lucrul excentric al coroanei pe talpă, vibrații, introducerea carotierei cu viteză mare și izbirea ei pe talpă, arderea coroanei datorită lipsei de circulație a noroiului, folosirea unui noroi cu conținut mare de nisip etc.

Avantajele folosirii coroanelor cu diamante. Față de coroanele cu aliaje dure, cele cu diamante realizează o viteză mecanică de 2—3 ori mai mare; uzura diamantelor într-un timp mai îndelungat mărește durata de lucru pe talpă, dînd posibilitatea carotajului în marșuri lungi pînă la 6—8 m; asigură un recuperaj mult mai mare a carotelor; asigură o bună verticalitate a găuri de sondă, iar costul pe metru forat este mai mic ca urmare și faptului că după uzura coroanei diamantele rămase pot fi recuperate.

c. **Alezoare și lărgitoare cu diamante.** Deasupra coroanei sau sapei se intercalează, în forajul cu coroane cu diamante, un *manșon alezor* care are rolul de a aleza gaura de sondă corectînd-o și calibrînd-o. În felul acesta se protejează coroana de uzură la diametrul exterior.

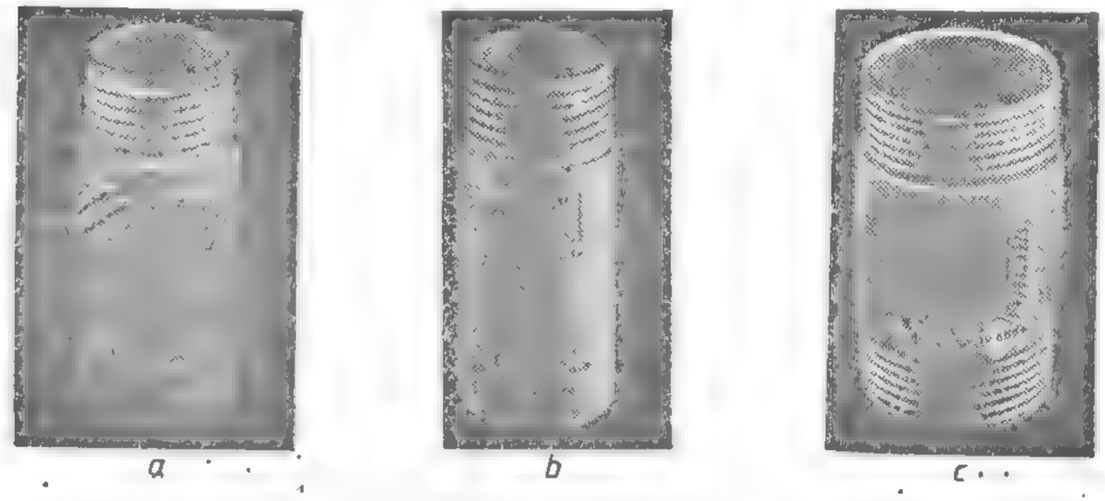


Fig. XI.76. Alezoare cu diamante:
a — alezor cu inele insertate pe nervuri spirale; *b* — alezor cu inele insertate pe nervuri verticale; *c* — alezor cu segmente.

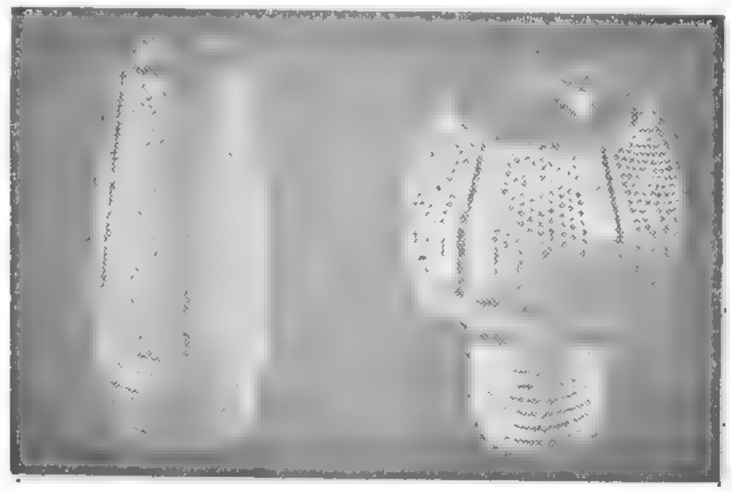


Fig. XI.77. Lărgitoare cu diamante.

Există mai multe tipuri constructive: *alezoare cu inele, cu segmente* etc. (fig. XI.76). Diametrul alezoarelor este dat în tabelele XI.9 și XI.15.

Lărgitoarele se utilizează în scopul lărgirii găurii de sondă, de la un diametru la altul. Ele pot fi conice, lungi, scurte etc. (fig. XI.77).

3.4. SPĂLAREA GĂURII DE SONDĂ. FLUIDUL DE FORAJ

3.4.1. ROLUL ȘI PROPRIETĂȚILE FLUIDULUI DE FORAJ

Curățirea continuă a tălpii găurii de sondă și evacuarea detritusului se face, în forajul rotativ, cu ajutorul fluidului de foraj. Pentru a putea îndeplini această funcțiune, fluidul pompat în gaura de sondă trebuie să țină în suspensie particulele de rocă, iar cînd acesta a ajuns la suprafață să depună particulele pe fundul jgheaburilor astfel ca cel ce se pompează din nou în gaura de sondă să fie curat.

În afară de rolul de spălare și evacuare a detritusului, fluidul de foraj mai îndeplinește și alte funcții în procesul de foraj, ca:

— răcirea sapei sau coroanei în timpul lucrului;
— colmatarea pereților găurii de sondă;
— menținerea presiunii hidrostatice în gaură de sondă, necesară pentru a preveni eruptiile libere de țiței, gaze sau alte fluide;
— lubrifierea garniturii de foraj, a lagărelor sapelor cu role sau a lagărelor coroanelor duble;
— înmuierea rocii în care se forează și ușurarea sfărîmării acesteia;
— reducerea frecării materialului tubular de pereții găurii de sondă.

În funcție de condițiile geologice, structura și textura rocilor traversate, prezența sau absența presiunea și compoziția apelor traversate, condițiile de procurare a apei tehnologice, costurile substanțelor chimice și tehnologia de foraj adecvată pentru obținerea unui recuperaj și unei viteze de lucru maxime, se pot folosi următoarele fluide: apă; fluide pe bază de apă și produse sintetice (apă și poliacrilamidă, apă și biopolimeri etc.) sau naturale (bentonită de bună calitate); fluide (clasice) pe bază de apă și argilă; fluide negre (pe bază de produse petroliere — motorină și asfalt oxidat); aer; gaze; fluide spumate și aerate (apă aerată).

În timpul forajului elementele active ale uneltei tăietoare se uzează ca rezultat al încălzirii excesive cauzată de frecarea dintre rocă și unealta tăietoare. Pentru a înlătura încălzirea și pentru ungerea garniturii de foraj și a elementelor active ale uneltei tăietoare este necesar să se stabilească debitul optim al fluidului de foraj, în funcție de forma și dimensiunile sculei tăietoare.

La ieșirea înspre suprafață prin spațiul inelar dintre pereții găurii de sondă și garnitura de foraj, noroiul colmatează pereții găurii de sondă, formînd o crustă subțire impermeabilă și destul de rezistentă, care asigură o susținere a pereților găurii de sondă, împiedicînd surparea acestora și pierderea noroiului în stratele a căror presiune este mai mică decît presiunea noroiului.

Pereții găurii de sondă, ca urmare a presiunii litostatice, precum și a presiunilor din stratele transversate, se surpă ușor și uneori provoacă prinderea garniturii de foraj.

Fluidul de foraj prin greutatea sa asigură contrapresiunea necesară pe pereții găurii de sondă, evitînd în acest fel surparea pereților găurii de sondă și pericolul eruptiunilor în cazul cînd în stratele traversate sînt înmagazinate fluide sub presiune.

În forajul de explorare, în mod obișnuit, se folosește ca fluid de foraj *noroiul de foraj*.

Prin componența sa, noroiul este un sistem compus dintr-un mediu dispersant continuu, constituit din apă și dintr-o fază dispersă discontinuă, formată din particule

solide dispersate în apă (suspensoizi) și particule coloidale (coloizi), reprezentînd astfel un sistem eterogen polidispers, compus din minimum doi componenți: *argila* — fază dispersă și *apa* — mediul de dispersie.

În mod obișnuit noroiul rezultat din amestecul de argilă și apă conține particule solide mai mari, în stare de suspensie, numite *suspensoizi*, și particule foarte fine, numite *coloizi*. Acestea din urmă determină proprietățile de bază ale noroiului, ca: greutate specifică, viscozitate, tixotropie, stabilitate, salinitate și conținut de nisip.

Determinarea acestor proprietăți se poate face direct la șantier sau în laborator.

Greutatea specifică a noroiului depinde de raportul dintre cantitatea de argilă și cantitatea de apă conținută în acesta. Ea reprezintă greutatea unui decimetru cub de noroi și se notează cu γ. Determinarea exactă a greutății specifice se face în laborator cu ajutorul *densimetrului*.

Pentru citirea directă a greutății specifice a noroiului se folosește *hidrometrul* (densimetrul). Un astfel de aparat constă dintr-un corp de sticlă, prevăzut la partea superioară cu o scară gradată, iar la cea inferioară cu un paharel cu capac. După umplerea paharului cu noroi se închide capacul și apoi se introduce aparatul într-un vas cu apă. Diviziunea pînă în dreptul căreia aerometrul este cufundat în apă indică greutatea specifică a noroiului (fig. XI.78). Pe șantier, pentru determinarea greutății specifice a noroiului este folosit cîntarul de noroi tip „Balanța" Sibiu (fig. XI.79). Se cîntărește un cilindru de tablă de 1—5 l, umplut cu noroi, greutatea dată de cîntar împărțită la numărul de litri de noroi dă greutatea specifică a noroiului. În noroi obișnuit are o greutate specifică de 1,12—1,30 daN/dm³.

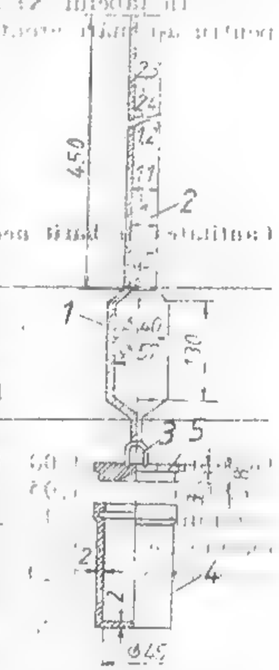


Fig. XI.78. Densimetru pentru noroi și ciment:
1 — corp cilindric; 2 — tijă gradată goală la interior; 3 — cîrlig; 4 — recipient de aluminiu; 5 — capacul recipientului de aluminiu.

Valoarea presiunii exercitate de fluidul de foraj asupra pereților și a tălpii găurii de sondă, datorită greutății sale specifice, se determină cu relația:

$$p = \frac{H\gamma}{10} \quad [\text{daN/cm}^2]$$

în care: H este înălțimea coloanei de fluid, m;

γ — greutatea specifică a fluidului, daN/dm³.

Pentru creșterea greutății specifice a noroiului, creștere impusă de anumite condiții de foraj, se adaugă materiale de îngreunare, ca de exemplu baritină ($BaSO_4$) a cărei greutate specifică este de 4,2 daN/dm³.

Mărirea greutății specifice este necesară cînd presiunea exercitată de noroiul de foraj este insuficientă pentru a echilibra presiunea formațiunilor trasversate sau cînd trebuie mărită presiunea asupra pereților găurii de sondă pentru a împiedica surparea lor. Cantitatea de baritină sau de alt material de îngreunare se poate calcula cu relația:

$$G = \gamma_3 \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_3 - \gamma_2}$$

în care: G este cantitatea de material pentru îngreunat ce trebuie adăugată la noroi pentru a-i ridica greutatea specifică de la γ_1 la γ_2;
γ_1 — greutatea specifică inițială a noroiului ce trebuie îngreunat;
γ_2 — greutatea specifică finală a noroiului;
γ_3 — greutatea specifică a baritinei sau a altui material de îngreunare;
V — volumul inițial al fluidului, dm³.

În tabelul XI.17 este dată cantitatea de baritină necesară la 1 m³ de noroi pentru a-i mări greutatea specifică de la γ_1 la γ_2, calculată cu relația:

$$Q = \gamma_3 \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_3 - \gamma_2} \cdot 1000 \ [\text{daN/m}^3]$$

Tabelul XI.17

Cantitatea de barit necesară pentru a mări greutatea specifică γ_1 a unui metru cub de noroi la o greutate specifică de γ_2

		Kilograme de barit la 1 m de noroi										
		Greutatea specifică a noroiului după îngreuiere, γ_2										
		1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80
Gerutatea specifică a noroiului înainte de îngreuire γ_1	1,00	439	522	607	696	788	884	984	1088	1196	1309	1426
	1,05	366	477	531	619	710	804	902	1004	1110	1221	1336
	1,10	296	373	456	542	631	724	820	920	1025	1134	1246
	1,12	220	298	380	464	552	643	738	837	940	1047	1158
	1,20	146	224	304	387	473	563	656	753	854	960	1069
	1,25	73	149	228	309	394	482	574	669	769	872	980
	1,30		75	172	232	315	402	492	586	683	785	891
	1,35			76	155	236	322	410	502	598	698	802
	1,40				77	158	241	328	418	512	611	713
	1,45					79	161	246	335	427	523	624
	1,50						80	164	251	342	436	534
	1,55							82	167	256	349	445
	1,60								84	171	262	355
	1,65									85	174	267
	1,70										87	179
	1,75											8
	1,80											—

Sînt și cazuri cînd se impune micșorarea greutății specifice, atunci cînd în gaura de sondă apar zone cu permeabilitate mare sau cînd în timpul forajului greutatea specifică a crescut peste limitele normale, prin mărirea conținutului de material detritic.

Scăderea greutății specifice se face la noroaiele pe bază de argilă și apă, prin adaos de apă, humă și trassgel.

Cînd se impune o reducere și mai mare a greutății specifice, se adaugă naftenat de sodiu de 1—4% în greutate raportată la volumul de noroi. Noroiul pe bază de naftenat poate ajunge pînă la o greutate specifică de 0,85 daN/dm³.

Viscozitatea Prin vîscozitate se înțelege rezistența pe care o opune fluidul de foraj în curgerea sa. Această rezistență se datorește frecărilor interioare ce se nasc în timpul curgerii lichidului. Unitatea de măsură pentru vîscozitatea absolută este *poiseul* (P) sau submultiplul său *centipoiseul* (cP).

$$1 \text{ Poise} = \frac{1 \text{ dyne} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = \frac{1}{98{,}1} \left[\frac{\text{daN} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right]$$

Un centipoise reprezintă vîscozitatea absolută pe care o are apa la temperatura de 20°C. Noroiul de foraj are o vîscozitate absolută cuprinsă între 5 și 20 cP. Măsurarea vîscozității noroaielor se face cu ajutorul *vîscozimetrelor*. După principiul de funcționare se deosebesc *vîscozimetre de scurgere* și *vîscozimetre de rotire*. La primele — vîscozimetre de scurgere — se măsoară timpul în care se scurge o anumită cantitate de noroi printr-un tub de lungime și diametrul dat, iar la cele de rotire se măsoară rezistența opusă de noroi unui cilindru ce se rotește cu noroiul așezat în interiorul unui vas.

Vîscozimetrul de cîmp. Constă dintr-o pîlnie și o cană de măsurat. Pe șantierele noastre se folosește *vîscozimetrul pîlnie standard* cu dimensiunile din fig. XI.80.

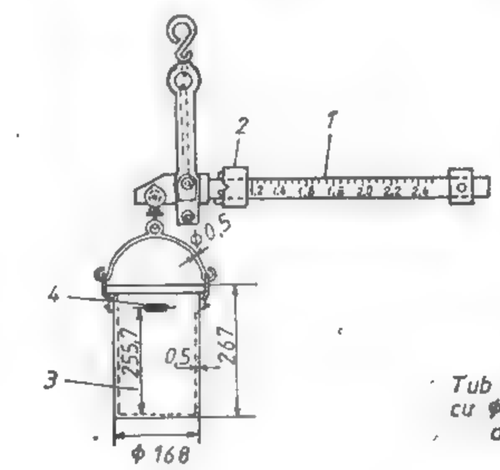


Fig. XI.79. Cîntar de noroi tip „Balanța Sibiu":

1 — braț gradat; *2* — greutate culisantă; *3* — vas pentru noroi; *4* — fereastră de nivel.

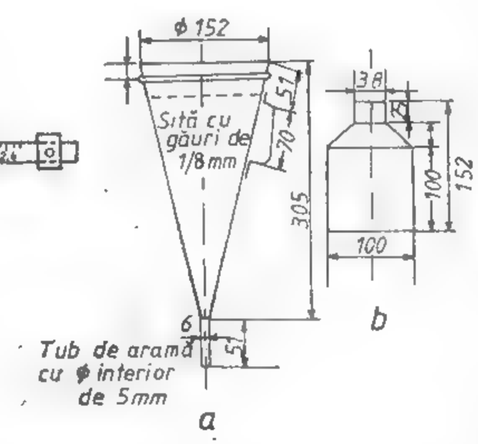


Fig. XI.80. Vîscozimetrul pîlnie standard:

a — pîlnie; *b* — cană de măsurat.

Se toarnă noroiul cu ajutorul cănii în pîlnia a cărui orificiu este închis, se așază cana goală sub pîlnie și se dă drumul noroiului să curgă pînă se umple cana. Numărul de secunde în care se scurge noroiul reprezintă vîscozitatea (aparentă sau relativă) a acestuia.

Vîscozimetrul de laborator. În laboratoare se folosesc vîscozimetre de tipul *Ștormer* sau SNS-2.

Cu ajutorul acestor viscozimetre se determină viscozitatea noroiului, folosind metoda scurgerii sub presiune a fluidului printr-o țeavă capilară care asigură o curgere laminară a acestuia.

Pentru calcularea indicelui de viscozitate se face în prealabil etalonarea aparatului cu apă distilată la +20°C.

Tixotropia. Este proprietatea noroiului de a se transforma în gel cînd este în repaus și din gel în fluid atunci cînd este pus din nou în mișcare.

Datorită acestei proprietăți particulele de rocă sînt împiedicate să se depună atunci cînd din diferite cauze se întrerupe circulația, iar cînd noroiul a ajuns la suprafață nu eliberează particulele de detritus.

Tensiunea statică a deplasării, adică mărimea eforturilor de deplasare care provoacă mișcarea noroiului din stare de repaus, arată gradul de densitate al structurii formate.

Pentru determinarea ei se folosește aparatul SNS-2 sau viscozimetrul de tipul *Mac Michel*.

Stabilitatea. Este proprietatea datorită căreia noroiul nu separă apa pe care o conține. Datorită acestei proprietăți noroiul își păstrează densitatea aproape constantă pe întreaga înălțime a găurii de sondă. Stabilitatea noroiului are mare importanță în procesul de foraj. Un noroi lipsit de stabilitate eliberează apa în timpul circulației și aceasta pătrunde în stratele traversate, producînd surparea pereților găurii de sondă.

Filtrația. Prin filtrație se înțelege fenomenul de cedare a unei părți din apa de constituție a fluidului de foraj prin pereții poroși ai găurii de sondă, sub influența diferenței dintre presiunea fluidului de foraj și presiunea fluidului din strat. Ca urmare a procesului de filtrare a apei libere din fluidul de foraj, pe pereții găurii de sondă se depune o crustă.

Determinarea filtrării noroiului se face măsurînd apa liberă separată de noroi sau filtrația acestuia.

Filtrația se determină în laborator cu următoarele aparate:

— cu filtru de noroi de joasă presiune la presiunea de 7 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.81);

— cu aparatul VM-6 la presiunea de 1 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.82).

Un noroi de foraj corespunzător are filtratul de 8—12 cm³ în timp de 30 min și crusta (turta) de 1—2 mm.

Salinitatea. Conținutul în sare a noroiului, exprimat în procente, se numește salinitate.

La începutul forajului, noroiul are un conținut mic de sare, însă acesta poate crește brusc, în special atunci cînd se întîlnesc strate de apă sărată. Măsurarea salinității noroiului poate da indicații asupra adîncimii la care au fost întîlnite stratele respective, caracterului rocilor traversate și conținutului de cloruri și ioni de calciu, care influențează caracteristicile fluidului de foraj.

Conținutul de nisip. Determinarea conținutului procentual de nisip se face cu ajutorul unei fiole gradate, în care se toarnă 50 cm³ de noroi, peste care se toarnă apă pînă la nivelul gradației de 500 cm³ și se agită puternic. După trcerea unui minut se determină în partea de jos a fiolei, în centimetri cubi, cantitatea de nisip ce s-a sedimentat.

Determinarea conținutului de nisip se face de obicei prin următoarele metode: prin elutriere, prin cernere și elutriere, prin cernere și spălare pe sită.

Cunoașterea conținutului de nisip în noroiul de foraj este importantă întrucît o cantitate de nisip mai mare de 1% are o acțiune abrazivă puternică asupra instalației de foraj.

Indicele pH (potențialul de hidrogen). Este un parametru care dă informații asupra caracterului acid sau bazic al fluidului de foraj. El indică concentrația momen-

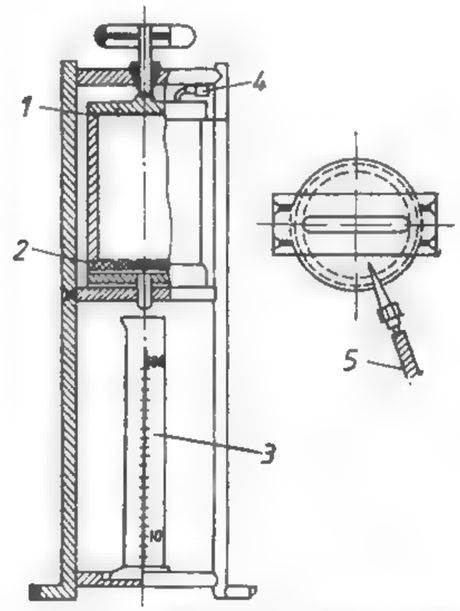


Fig. XI.81. Filtru de noroi de joasă presiune:

1 — garnitură; *2* — hîrtie filtru; *3* — cilindru gradat; *4* — legătură cu butelia de aer comprimat; *5* — furtun de aer comprimat.

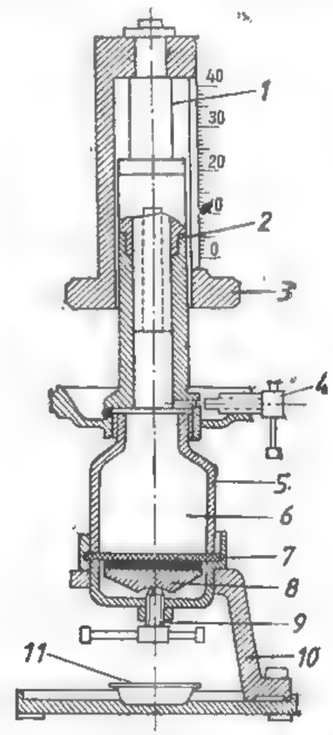


Fig. XI.82. Aparat de filtrare VM-6:

1 — piston; *2* — cilindru; *3* — scală gradată; *4* — robinet cu ac; *5* — celulă de filtrare; *6* — fluid de foraj; *7* — sită; *8* — supapă; *9* — șurub; *10* — suport metalic; *11* — vas de colectare.

tană în ioni liberi de hidrogen a soluției respective. O soluție este considerată acidă cînd are *p*H-ul < 7 și bazică cînd are *p*H-ul cuprius între 7 și 14. *p*H-ul se măsoară în laborator prin metode clorometrice sau electrometrice. Noroiul de foraj trebuie să aibă *p*H-ul mai mare de 7.

Factorii care influențează proprietățile fluidului de foraj. În timpul forajului fluidul de foraj (noroiul de foraj) își modifică caracteristicile inițiale datorită pe de o parte detritusului pe care îl transportă la suprafață și care prin fărîmițare se dispersează în masa fluidului într-o oarecare măsură, iar pe de altă parte datorită naturii și caracteristicilor formațiunilor traversate și a tempeeraturii ridicate din gaura de sondă.

Efecte de contaminare a fluidului de foraj au argila, sarea, gipsul, gazele și conținutul ridicat de nisip.

Creșterea conținutului de argilă determină creșterea viscozității și tixotropiei noroiului, făcîndu-l greu pompabil și mărind pericolul de prindere a garniturii de foraj.

La traversarea formațiunilor cu intercalații de gips sau anhidrit, creșterea conținutului de Ca produce, de asemenea, creșterea viscozității și a tixotropiei.

Sarea are, de asemenea, drept consecință modificarea viscozității, tixotropiei și a filtrației.

La traversarea formațiunilor nisipoase sau marnelor nispoase conținutul în nisip crește mărind abrazivitatea noroiului și permeabilitatea crustei de pe pereții găurii de sondă.

În cazul cînd greutatea specifică a noroiului de foraj este mai mică decît presiunea stratului, gazele pătrund în masa noroiului, mărind volumul acestuia și micșorîndu-i greutatea specifică.

3.4.2. PREPARAREA NOROIULUI DE FORAJ

Noroiul se prepară din amestecul argilei sau marnei cu apă în diferite proporții, sau cu amulsie de produse petroliere.

Amestecarea se face manual sau mecanic, cu ajutorul malaxoarelor de noroi sau în pilnii identice cu cele folosite la prepararea laptelui de ciment.

Condiția ce se cere argilei sau marnei folosite este să fie plastică și curată, să nu conțină pietriș, nisip sau materii organice.

Pentru condițiile normale de lucru, noroiul se consideră satisfăcător cînd îndeplinește următoarele caracteristici:

— viscozitatea cuprinsă între 2 și 4 cP;
— filtrația în limitele 8—12 cm³/24 ore;
— decantarea în 24 de ore să nu fie mai mare de 5%;
— conținutul de nisip să nu fie mai mare de 2—3%.

Greutatea specifică nu constituie o proprietate determinantă a noroaielor. Noroaiele pot avea aceeași greutate specifică, dar pot fi complet diferite în privința proprietăților lor.

Caracteristicile medii pentru un fluid bun de foraj sînt date în tabelul XI.18.

În timpul forajului pot avea loc *pierderi de circulație* datorită porozității prea mari a rocilor străbătute, fisurilor, geodelor, golurilor subterane etc.

Pentru prevenirea pierderii de noroi se mărește viscozitatea noroiului prin adăugare de var, sticlă lichidă sau ciment.

În cazul pierderilor intense de noroi se întrebuințează *gelcimentul* — o soluție de ciment cu marnă foarte coloidală, adăugîndu-se 1 parte marnă la 100 părți ciment.

Pentru *prevenirea dărîmării pereților găurii de sondă* se stabilește un anumit regim de foraj care să asigure o viteză maximă de avansare și să înlăture pe cît posibil opririle neproductive, iar noroiul de foraj folosit să asigure tot timpul o presiune hidrostatică cu puțin mai mare decît presiunea stratelor străbătute. Este indicat să se folosească un noroi cu o viscozitate de 25—30 s, iar filtrația să fie în jurul a 100 cm³/24 ore.

Pentru îmbunătățirea calității și reglarea proprietăților lor în anumite limite, noroaiele se tratează cu diverși reactivi chimici. Astfel, un reactiv eficient pentru scăderea viscozității și filtrației noroiului este cel combinat din lignit, extras de sulfitceluloză și sodă caustică.

Tabelul XI.18

Caracteristicile medii pentru fluidul de foraj

Caracteristici	Fluide pe bază de masă					Fluide negre
	Cu apă și argile	Cu emulsie de produse	Cu amidon	Cu baza de silicat de sodiu	Cu baza de var	
Greutatea specifică, daN/cm³	1,15—1,20	1,10	1,15—1,20	1,45	1,15—1,20	0,90—0,95
Viscozitatea, s	30—35	54—55	80	mare	35—40	60
Filtrația, cm³	sub 12	10	5	12	5	maximă
Turta, mm	3	2	1	2	1	urme
pH	8—9	9—10	sub 11	13	12	—

Influența greutății specifice și a vîscozității noroiului. Apa satisface curățirea tălpii găurii de sondă, evacuarea detritusului și răcirea sapei numai în rocile compacte nefisurate (marmure, unele calcare, bazalte etc.), unde rezultă un detritus fin. Ea nu poate însă menține în suspensie particulele de detritus mai puțin fine în timpul opririi circulației, din care cauză are loc depunerea acestora și prinderea garniturii, și nu se realizează colmatarea pereților. Datorită acestor neajunsuri, în majorittea cazurilor apa a fost înlocuită cu noroi care, prin greutatea specifică și prin vîscozitatea sa deosebite de ale apei, satisface cerințele ce se ivesc în procesul de foraj.

Folosirea unui noroi cu o greutatea specifică și vîscozitate prea mari au un efect, dăunător asupra vitezei mecanice de foraj, se gazeifică ușor, se pompează greu și are tendința de a se lipi de prăjinile de foraj.

Pentru preîntîmpinarea acestor neajunsuri, practica a dovedit că este indicat să se folosească noroi cu o greutate specifică și vîscozitate mică.

Influența circulației asupra vitezei de foraj. O circulație necorespunzătoare a noroiului de foraj influențează viteza de foraj în sensul că roca neevacuată în totalitatea ei opune o rezistență suplimentară sapei, datorită căreia viteza mecanică de foraj scade.

Pe baza rezultatelor de teren s-a putut stabili o relație între debitul de noroi și viteza mecanică de foraj.

Relația este dată de formula:

$$v_m = \frac{Q}{a + b \cdot Q}$$

în care: v_m este viteza mecanică de foraj; Q — debitul de noroi; a și b sînt constante ce depind de proprietățile rocilor forate, debitul noroiului și dimensiunile spațiului inelar.

Tot pe bază de experiență s-a stabilit că la viteze mici ale curentului ascendent ($v = 0{,}45-0{,}50$ m/s), viteza mecanică de foraj crește proporțional cu Q, deci $v_m = f(Q)$.

Această relație este însă valabilă numai atunci cînd viteza curentului ascendent este de 0,5 m/s. S-a constatat că dacă Q este suficient pentru spălarea tălpii, mărirea lui în continuare influențează foarte puțin viteza mecanică v_m.

În afară de debitul de noroi, viteza mecanică de foraj, v_m, mai este influențată în mare măsură și de viteza noroiului de spălare prin orificiile sapei.

Experiențele arată că debitul Q accelerează mult forajul numai în cazul cînd orificiile de spălare sînt aproape de talpă, deoarece atunci jetul de noroi poate să atingă cu putere talpa găurii de sondă și să acționeze activ asupra ei. Pentru o spălare perfectă a tălpii găurii de sondă, jetul trebuie să exercite o presiune de 5—6 daN/cm².

În concluzie, viteza mecanică de foraj depinde foarte mult de gradul de spălare a tălpii de rocă forată. Spălarea intensă a tălpii se obține prin apropierea la maximum a orificiilor de spălare la talpă.

Substanțe folosite pentru corectarea proprietăților noroiului de foraj. Se folosesc:

Substanțe pentru îngreunare: baritina ($BaSO_4$) sub denumirea tehnică de *barită* este folosită în exclusivitate pe șantierele din România.

Substanțe reducătoare de viscozitate și de filtrare:

— *reactivul de lignit sau humatul de sodiu* — soluție coloidală obținută dintr-un amestec de lignit măcinat și o soluție de sodă caustică;

— *rășini sintetice solubile* — preparate din acizi crezosulfonici sau fenosulfonici și aldehidă formică;

— *coloizi organici:* amidonul, nitratul de carbon din grupa polizaharidelor și carboxilmetilceluloza (CMC).

Substanțe rezistente la temperaturi înalte:

— lignosulfonatul de fier și crom sau ferocromlignosulfonatul (FCLS);
— lignosulfonatul de crom sau cromlignosulfonatul (CLS);
— humatul de crom (cromlignitul);
— poliacrilamida.

Substanțe alcaline și alcalino-pămîntoase;

— soda calcinată (Na_2CO_3) — se folosește la combaterea contaminării noroiului de foraj cu calciu și pentru ridicarea *p*H-ului;

— bicarbonatul de sodiu ($NaHCO_3$) — se folosește la combaterea contaminării noroiului cu ciment;
— soda caustică ($NaOH$);
— varul.

3.4.3. CURĂȚIREA NOROIULUI DE FORAJ, STABILIREA DEBITULUI ȘI PRESIUNII DE CIRCULAȚIE

Curățirea noroiului se face prin depunerea detritusului în sistemul exterior de circulație format din jgheaburi, batalele de decantare și de tragere.

O mai bună curățire se realizează cu ajutorul hidrociclonului, care se intercalează în sistemul de circulație a fluidului de foraj.

Debitul de circulație. La determinarea debitului de circulație trebuie să se cunoască programul de construcție al găurii de sondă, componența garniturii de foraj și viteza ascensională a noroiului. Pe baza experienței de șantier, viteza ascensională se ia de 0,3—0,6 m/s. Ea trebuie să crească odată cu creșterea cantității de detritus ce se află în curentul ascensional, ca urmare a creșterii vitezei mecanice.

Pentru calculul debitului de noroi se folosește relația:

$$Q_n = F \cdot V_a = \frac{3{,}14}{4}(D^2 - d^2) \cdot V_a = 0{,}785\, V_a(D^2 - d^2) \quad [\text{l/min}]$$

în care: F este secțiunea spațiului inelar, dm²;
V_a — viteza ascensională, dm/min;
D — diametrul găurii de sondă, dm;
d — diametrul exterior al prăjinilor de foraj, dm.

Presiunea de circulație. Noroiul este pompat în gaura de sondă cu o anumită presiune.

Căderile de presiune mai importante ce se produc în gaura de sondă sînt: căderi de presiune în carotieră sau sapă, în garnitura de foraj, în spațiul inelar și căderea de presiune ca urmare a diferenței între greutățile specifice ale noroiului în curent ascendent și descendent.

Aceste căderi nu trebuie să depășească presiunea pentru care este construită pompa de noroi. *Puterea de acționare a pompei* se calculează la presiunea maximă, cu relația:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75\eta} \text{ [CP]}$$

în care: Q este debitul pompei, m^3/s;
H — presiunea, m H_2O;
η — randamentul pompei, 0,8—0,9;
γ — greutatea specifică a fluidului de foraj, daN/dm^3.

Volumul batalelor. Volumul batalului de decantare este de circa 1 m^3, iar volumul batalului de tragere se determină cu relația:

$$V = C \cdot V_s \text{ [m}^3\text{]}$$

în care: V_s este volumul găurii de sondă la adîncimea finală, m^3;
C — coeficient ce depinde de roca traversată și care are valori de 1,5—2.

Lungimea jgheabului. Se determină cu relația:

$$L = \frac{W}{b \cdot k} \text{ [m]}$$

în care: W este cantitatea volumetrică a particulelor de detritus depuse pe jgheab, m^3/min;
k — coeficientul capacității de curățire, egal cu 0,0003 m/min;
b — lățimea jgheabului, m.

În practică lățimea se ia de 20 cm, înălțimea de 15 cm, iar lungimea între 1,5—2 m.

Volumul batalelor trebuie să fie de două ori mai mare decît volumul găurii de sondă corespunzătoare adîncimii finale, iar lungimea jgheaburilor de circa 15m.

3.5. OPERAȚII DE MANEVRĂ ȘI MATERIAL TUBULAR

Operațiile de manevră constau în introducerea și extragerea garniturii de foraj pentru înlocuirea sapei sau coroanei de foraj precum și pentru extragerea caratelor și prelungirea garniturii de foraj cu noi prăjini, pe măsura avansării forajului.

Materialul tubular folosit în tehnica forajului constă din prăjini de foraj și burlane, cu elementele de legătură respective.

3.5.1. PRĂJINI DE FORAJ

Transmiterea energiei necesară săpării de la agregatele de forță la unealta tăietoare (sapă sau coroană) se face prin intermediul garniturii de foraj.

În tehnica forajului, ansamblul format din prăjina de antrenare, prăjinile de foraj, prăjinile grele, reducțiile, niplurile, racordurile și sapa sau carotiera formează *garnitura de foraj*.

Prăjina de antrenare. Face legătura între capul hidraulic și prăjinile de foraj și asigură transmiterea mișcării de rotație de la capul de rotire al agregatului de foraj sau de la masa totativă (în cazul forajului cu masa rotativă) la garnitura de prăjini.

După secțiunea părții de antrenare, prăjinile de antrenare (fig.XI.83) se fabrică din țevi laminate, în patru forme: cu partea de antrenare hexagonală, pătrată, triunghiulară și circulară.

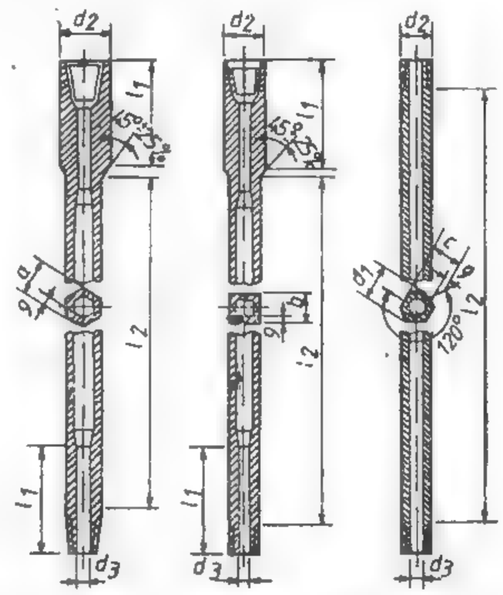


Fig. XI.83. Prăjini de antrenare din țevi laminate.

Lungimea prăjinii de antrenare este cu 1—2 m mai lungă decît a prăjinilor obișnuite de foraj.

În tabelul XI.19 se dau dimensiunile, în mm, a prăjinii de antrenate SzHT cep-cep 47, conform STAS 2606—80.

Tabelul XI.19

Prăjină de antrenare Sz HT cep-cep 47 STAS 2606-80

Forma prăjinilor	Dimensiunea nominală a prăjinii de antrenare	a ±1%	d_2 ±1,5	d^3 ±1,0	g +25 %	l_1 min.	l_2 ±100	r*	Filete: La partea superioară	Filete: La partea inferioară
HT	47	4	64	22	10	220	5200	±4...60	Mufă R 50 st STAS5291-56	Cep

* r este raza de rotunjire a vîrfurilor secțiunilor hexagonală și pătrată.

Prăjinile de foraj propriu-zise. Se caracterizează prin diametrul exterior uniform, condiție necesară pentru ca acestea să poată trece prin dispozitivul de rotire al sondezei. Ele se fabrică în două tipuri:

— prăjini de foraj cu nipluri de legătură (fig. XI.84);

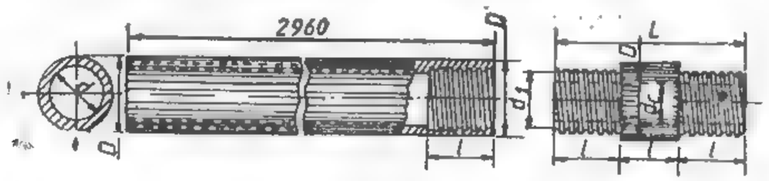


Fig. IX.84. Prăjini cu niplu pentru forajul cu sondeze.

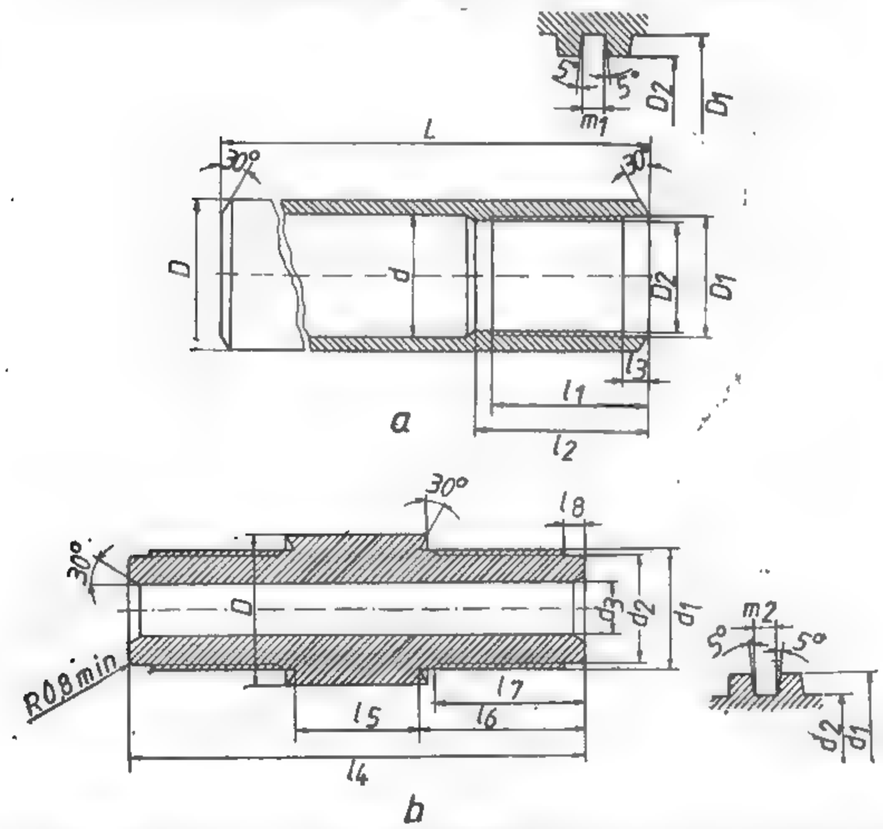


Fig. XI.85. Prăjină de foraj (*a*) și niplu de legătură (*b*) pentru sondeze (STAS din 1968/80).

— prăjini de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe de legătură normale și prin mufă și cep din corpul prăjinii.

Prăjinile de foraj cu nipluri sînt din seria W și au prevăzute la ambele capete mufe, asamblarea lor făcîndu-se cu ajutorul niplurilor. Niplurile sînt prevăzute la capete cu filet dreptunghiular cu patru spire pe țol, iar la mijloc cu două porțiuni dreptunghiulare (tăieturi) ce servesc ca locaș pentru cheile folosite la înșurubare și deșurubare (fig. XI.85).

Dimensiunile prăjinilor și niplurilor, conform STAS 1968—80, sînt prezentate în tabelele XI.20 și XI.21.

Niplurile de legătură sînt de tip A — cep-cep și de tip B — mufă-cep. În practică se recomandă folosirea combinată a niplurilor tip A și B, pentru a preveni uzura prematură a filetului de la mufa prăjinii, datorită înșurubărilor repetate în timpul operațiilor de introducere și extragere a garniturii de foraj.

Tabelul XI.20

Dimensiunile prăjinilor de foraj cu mufă la ambele capete, pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max.	27,89	35,05	43,89	54,23	66,93	89,28
	min.	27,76	34,92	43,64	53,98	66,68	88,90
d	max.	18,26	25,40	34,14	44,45	57,15	77,77
D_2	max.	18,95	23,95	31,88	38,94	51,71	72,24
	min.	18,90	23,90	31,83	38,89	51,66	72,19
D_1	max.	21,67	27,13	35,05	42,93	56,49	77,06
	min.	21,62	27,07	35,00	42,88	56,44	77,01
L	max.	3020	3015	3017	3004	3004	2991
	min.	3019	3014	3016	3003	3002	2990
l_1	min.	36,50	39,67	47,62	57,15	69,85	82,55
l_2	min.	39,67	44,45	54,00	63,50	76,20	90,47
l_3	max.	6,60	8,18	9,80	9,80	9,80	9,80
	min.	6,10	7,67	9,27	9,27	9,27	9,27
m_1	max.	3,18	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22
	min.	3,10	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Prăjinile de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe sînt utilizate la forajul în carotaj mecanic continuu. Frecvent sînt folosite prăjinile cu diametrul de 50 mm, 60,3 mm și 73 mm (tabelul XI.22).

Ele se execută cu capetele îngroșate îmbinate prin racorduri speciale și la mufele prăjinilor (fig. XI.86).

Racordurile speciale (fig. XI.87) se compun din două piese:

— o mufă specială care are la un capăt un filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special interior pentru îmbinarea cu cepul special;

— un cep special prevăzut la un capăt cu filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special exterior pentru îmbinarea cu mufa specială.

Dimensiunile racordurilor speciale sînt date în tabelul XI.23.

Tabelul XI.21

Nipluri de legătură pentru prăjini de foraj tip W pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max.	27,89	35,05	43,89	54,23	66,93	89,28
	min.	27,76	34,92	43,64	53,98	66,68	88,90
d_1	max.	21,56	26,97	34,90	42,77	56,34	76,91
	min.	21,51	26,92	34,85	42,72	56,29	76,86
d_2	max.	18,85	23,80	31,72	38,79	51,56	72,09
	min.	18,72	23,67	31,60	38,66	51,44	71,96
d_3	max.	10,57	11,35	16,13	19,30	35,18	60,71
	min.	10,19	10,97	15,75	18,92	34,80	60,32
l_4	informativ	95,2	117,5	133,4	165,1	190,5	225,5
l_5	max.	28,45	33,78	32,89	44,58	45,08	57,40
	min.	27,94	33,27	32,38	44,07	44,58	56,90
l_6	max.	33,78	42,21	50,65	60,63	73,08	84,43
	min.	33,27	41,71	50,14	60,12	72,57	83,92
l_7	min.	28,58	36,50	44,45	53,98	66,68	79,38
l_8	max.	1,83	5,00	6,60	8,18	9,80	9,80
	min.	1,32	4,50	6,10	7,67	9,27	9,27
m_2	max.	3,18	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22
	min.	3,10	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Tabelul XI.22

Caracteristicile prăjinilor de foraj utilizate la instalațiile de mică adîncime (sondeze)

Dimensiunea nominală [mm]		Diametrul Exterior [mm]	Diametrul Interior [mm]	Lungimea unei bucăți [mm]	Masa pe metru [kg/m]	Secțiunea [cm²]	Volum interior pe metru [dm]	Forța de tracțiune la σ = 3000 [daN/cm²]
73	Corp	73,0	59,0 54,	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6... 13,7	12,85 16,47	14,5 18,43	2,7 2,2	43 500 55 290
	Racord	95,2	31,8	431	20	—	—	—
60,3	Corp	60,3	46,1	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6... 13,7	10,71	11,86	1,6	35 580
	Racord	79,4	25,4					
50	Corp Racord	50,0 64,0	37,5 27,0	3; 4,5; 6	7,75	8,63	1,09	25 890
50	Corp Niplu	50,0 52,0	39,0 22,0	1,5; 3; 4,5	7,0	7,85	1,1	23 550
42	Corp Niplu	42,0 44,0	32,0 16,0	1,5; 3; 4,5	5,2	5,82	0,78	17 460
33,5	Corp Niplu	33,5 34,0	24,0 14,0	1,5; 3; 4,5	3,4	4,29	0,44	12 870

Între prăjinile folosite în forajul cu sondeze figurează și cele și *pentru carotiera introductibilă* (fig. XI.88), care au diametrul interior mai mare și sînt netede (nu au ramforsări în interior și exterior), pentru a asigura manevrarea cu ușurință a tubului carotier. Ele fac parte din seria Q și sînt îmbinate prin mufă și cep din corpul prăjinii, prin filet conic cu profil trapezoidal. În tabelul XI.24 sînt prezentate dimensiunile prăjinilor din seria Q fabricate de firma suedeză Longyear și utilizate în țara noastră.

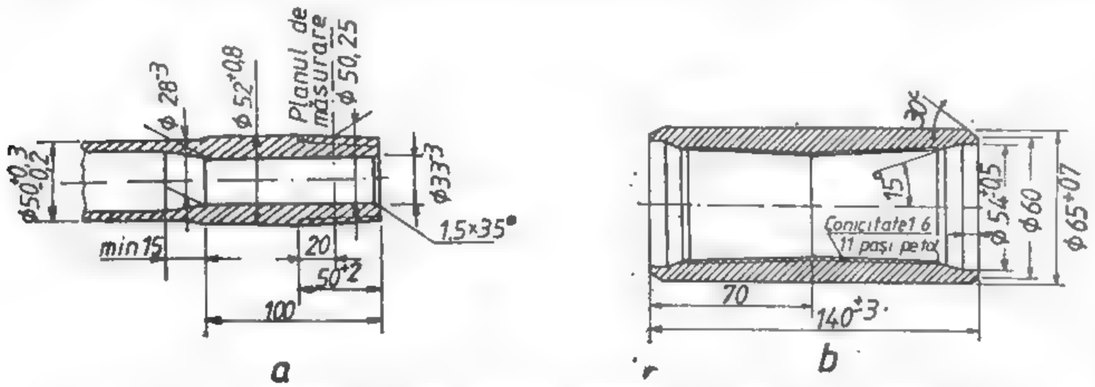


Fig. XI. 86. Prăjină de foraj pentru sondeze Ø 50 mm (*a*) și mufa ei (*b*).

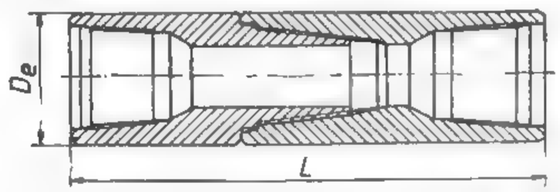


Fig. XI.87. Racord special (STAS 325—80)

Tabelul XI.23

Dimensiunile racordurilor speciale STAS 325-80

Diametrul nominal al racordului		Diametrul exterior al racordului [mm]	Lungimea racordului imperecheat [mm]
mm	in		
60,3	2 3/8 N	79,4	404
73,0	2 7/8 N	95,2	431
88,9	3 1/2 N	108,0	451
114,3	4 1/2 N	139,7	508
139,7	5 1/2 N	171,4	559
168,3	6 5/8 N	196,8	613
88,9	3 1/2 L	117,2	455
101,6	4 L	133,4	505
114,3	4 1/2 L	146,0	507
139,7	5 1/2 L	177,8	553
168,3	6 5/8	203,2	611

Prăjinile grele. În forajul rotativ întreaga garnitură trebuie susținută, deci supusă unor eforturi de tensiune, și numai o parte din greutatea ei, partea inferioară, trebuie să apese pe sapă, deci să fie expusă compresiunii.

În acest scop, între prăjinile obișnuite de foraj și sapă se intercalează prăjini grele (fig. XI.89), care servesc pentru apăsarea pe sapă, evitînd astfel compresiunea în prăjini.

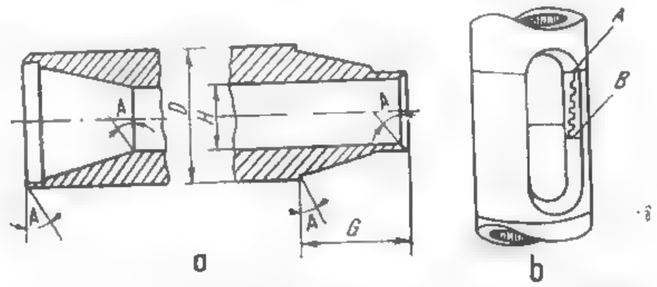


Fig. XI. 88. Prăjină din seria Q pentru carotiere introductibile:

a — prăjină (secțiune); *b*—vedere de ansamblu a îmbinării; *A* și *B*—punctele unde se nasc cele mai mari tensiuni în timpul forajului.

Tabelul XI.24

Dimensiunile prăjinilor din seria Q, fabricate de firma Longyear

		AQ		BQ		NQ		HQ	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
D	maxim	1,756	44,60	2,197	55,80	2,760	70,10	3,510	89,15
	minim	1,750	44,45	2,187	55,56	2,750	69,85	3,500	88,90
H	maxim	1,381	35,08	1,818	46,18	2,380	60,45	3,071	78,02
	minim	1,375	34,92	1,808	45,92	2,370	60,20	3,062	77,79
G		1,625	41,27	1,750	44,45	1,750	44,45	1,750	44,45
A		15°		15°		15°		15°	

	ACQ		BCQ		NCQ		HCQ	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
Diam. exterior	1 3/4	44,5	2 3/16	55,6	2 3/4	69,9	3 1/2	88,9
Diam. interior	1 17/16	36,5	1 7/8	47,6	2 7/16	61,9	3 3/16	80,9
Diam. interior cep și mufă	1 3/8	34,9	1 13/16	46,0	3 3/8	60,3	3 1/16	77,8

Prăjinile grele pentru forajul cu sondeze se execută prin laminare la cald, din oțel aliat marca 40 Cr și OLT 65, direct sub formă de țeavă. După laminare, cu excepția celor cu diametrul de 70 mm, ele se îngroașă la capete și se filetează mufă-mufă sau mufă-cep. Dimensiunile prăjinilor grele utilizate în forajul cu sondeze sînt date în tabelul XI.25.

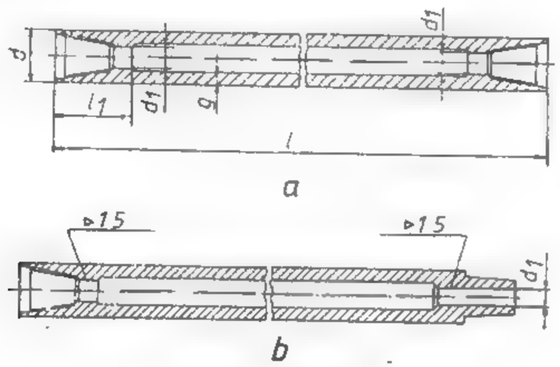


Fig. XI.89. Prăjină grea.

Reducții pentru garnitura de foraj. Reducțiile folosite în forajul cu sondeze sînt piese prin care se face legătura între diferitele părți ale garniturii de foraj, ca: prăjini de foraj și sapă sau carotieră; prăjini de foraj, prăjină de antrenare și capul hidraulic; prăjini de foraj și scule de instrumentație, prăjini grele etc.

Reducțiile pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze se execută în trei forme, conform STAS 5416—84:

— tip A — mufă-cep, tip B — mufă-mufă, tip C — cep-cep (fig. XI.90). Ele se fabrică din oțel aliat, prin forjare sau laminare.

Tabelul XI.25

Dimensiunile prăjinilor grele pentru sondeze

Dimensiunea nominală a prăjinii grele (diametrul exterior) [mm]	d ±1,5%	d_1 ±1	d_2 ±1	g −12,5%	l	l_1 min.	Filete	Masa [kg/m] min.
80	80	35	25	21	4000...5000	120	RS 123/8 STAS 325-75	29,5
95	95	43	31,5	21			RS 1 27/8 STAS 325-75	37,0

Solicitarea prăjinilor. Garnitura de foraj este supusă în timpul forajului unui complex de solicitări statice și dinamice. Solicitările statice sînt cauzate de greutatea proprie a garniturii de foraj și de momentele de torsiune, iar solicitările dinamice apar în timpul operațiilor de manevră, datorită accelerației masei garniturii de foraj în mișcare.

În procesul de foraj, sarcinile exterioare produse ca urmare a greutății proprii, a momentelor de torsiune ale forțelor centrifugale și ale forțelor perturbatoare provocate de acțiunea de dislocare a rocii de către unealta tăietoare, capătă uneori astfel de valori încît forma elastică a garniturii de foraj își pierde stabilitatea și apar zone de oboseală urmate de ruperi.

Rezultă că procesele de oboseală apar ca urmare a regimului de instabilitate statică și dinamică, consecință a regimului neuniform de tăiere și dislocare a rocilor de către unealta tăietoare și a celorlalți parametri definitorii ai regimului de foraj.

Redarea matematică a complexului de fenomene este foarte dificilă. De aceea, pentru analizarea lor se consideră în primul rînd stările simple de tensiune din elementele garniturii de foraj și apoi stările de instabilitate statică și dinamică, precum și oscilațiile mecanice ale garniturii.

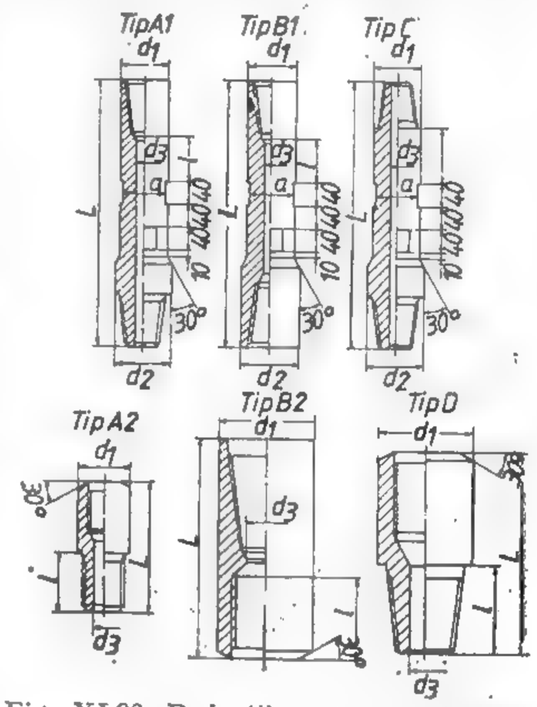


Fig. XI.90. Reducții pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze.

Controlul și îngrijirea prăjinilor. În timpul forajului prăjinile, în afara eforturilor care sînt supuse, se mai uzează și datorită circulației noroiului de foraj. Prin desele deșurubări și înșurubări, filetele speciale ale racordurilor se uzează și ele, modificîndu-și calibrul și dimensiunile, devenind improprii pentru lucru. Pe de altă parte, garnitura de prăjini în rotație se freacă de pereții găurii de sondă, în special în dreptul racordurilor, producîndu-se o uzură și o micșorare a diametrului exterior, din care cauză garnitura se rupe. Din aceste motive, după fiecare extragere trebuie să se facă un control amănunțit al garniturii, să se elimine mufele sau racordurile uzate, iar prăjinile ale căror pereți au suferit în urma corodării să se scoată din uz. Scoaterea din uz se face în urma cîntăririi prăjinii, prin care se constată greutatea cu care a scăzut. Dacă greutatea pierdută întrece limita prescrisă de norme, prăjinile se scot din funcție.

Pentru folosirea rațională a prăjinilor de foraj este necesară schimbarea periodică a poziției acestora în garnitură, astfel încît fiecare prăjină să lucreze un număr de ore aproximativ egal cu acela efectuat de celelalte prăjini și să ocupe succesiv, o anumită perioadă de timp, diferite poziții în componența garniturii de foraj. În aceste condiții se realizează o uzură uniformă a garniturii.

În afară de controlul făcut la sondă, prăjinile trebuie urmărite chiar la ieșirea din uzină în mod sistematic, sortate după calități și repartizate pe șantiere după gradul lor de uzură.

3.5.2. SCULE ȘI DISPOZITIVE DE MANEVRĂ PENTRU PRĂJINI ȘI BURLANE

Pentru manevrarea prăjinilor ca și pentru operațiile de tubaj se folosesc diferite scule: clești, chei, furci, căluși, elevatoare, șarniere etc.

Acestea se pot clasifica, după operațiile la care se utilizează, în:

— scule pentru înșurubarea și deșurubarea materialului tubular etc;

— scule și dispozitive de ridicat.

Scule pentru înșurubare și deșurubare. Din această categorie fac parte:

Cleștii, cheile pentru prăjini și cleștii pentru burlane. Cleștii pentru prăjini au o falcă ascuțită, iar cealaltă curbă, cu care se prinde prăjina. Deseori în locul cleștelui obișnuit se întrebuințează *cleștele reglabil* și *clești speciali cu falca articulată* (fig. XI.91, *a*).

Cleștii folosiți pentru coroane și manșoane alezoare de sondeze, conform STAS-ului în vigoare se execută în două tipuri:

tip I — clești cu știft (fig. XI.91, *b*) și tip II — clești cu fricțiune (gfi.XI.91, *c*).

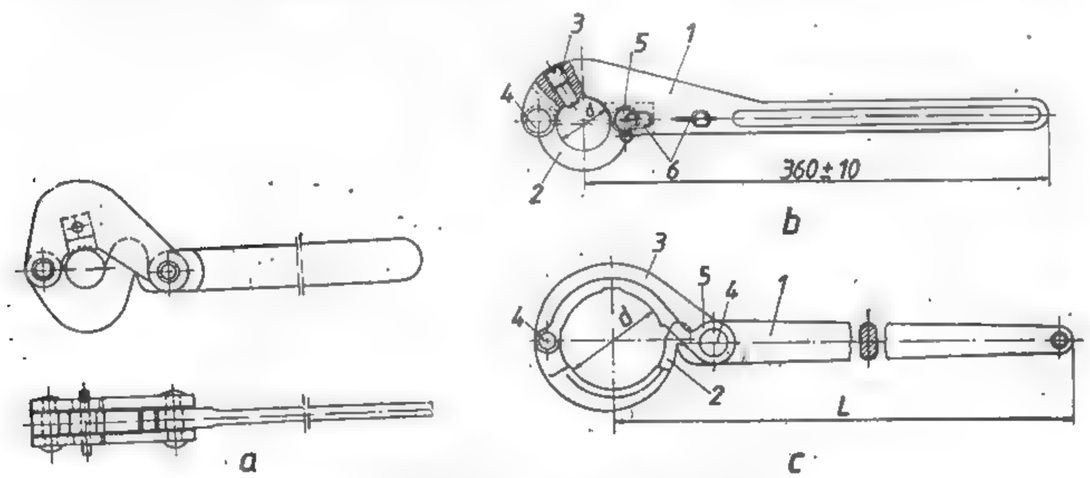


Fig. XI.91. Clești pentru sondeze:

a — clește special cu falca articulată pentru prăjini; *b* — clește cu știft (*1* — coadă; *2* — falcă inferioară; *3*—stift; *4* — nit; *5* — bolț; *6* — lanț); *c* — clește cu fricțiune (*1* — coadă; *2* — falcă inferioară; *3*—falcă superioară; *4* — bolț; *5* — inel).

Cheile pentru piulițe pot fi simple sau reglabile.

Cleștele cu lanț și cleștele cu șurub, pentru burlane, servesc la înșurubarea și deșurubarea burlanelor.

Scule și dispozitive de ridicare. Sculele și dispozitivele folosite pentru ridicarea garniturii sînt următoarele (fig. XI.92):

Furca pentru prăjini. Servește pentru suspendarea garniturii de foraj sau a burlanului de tubaj la gura sondei. Ea se așază sub mufa prăjinii sau a burlanului.

Elevatorul. Este folosit pentru ridicarea și coborîrea elementelor garniturii de foraj (fig. XI.92, *b*).

După modul de construcție se deosebesc: *elevatorul cu nipluri* (fig. XI.92, *b*), *elevatorul cu racorduri* (fig. XI.92, *c*) și *elevatorul cu cap* sau *suveiul* (fig. XI.92, *d* și *e*).

Tabelul XI.26

Caracteristici tehnice ale furcilor pentru prăjini

Dimensiunea nominală a prăjinii	Deschiderea furcii	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm	mm	kN	kg
33,5 N	27,5		8,3
42 N	32		9,5
50 N	37	120	9,6
50 RS	45		9,7
70	56		10
80	63		10
90	77		10

Elevatorul automat este prevăzut în interior cu bile ce culisează pe plane înclinate, avînd înclinarea spre interiorul dispozitivului.

Caracteristicile tehnice pentru furcă și elevator sînt date în tabelul XI.26 și respectiv tabelul XI.27.

Broasca cu pene. După extragere, prăjina se fixează în vederea deșurubării, cu ajutorul broaștei cu pene, care constă din bacuri de formă circulară, ce oscilează în jurul a doi pivoți de fixare. Pe partea interioară, bacurile sînt prevăzute cu dinți, care se înfig în prăjini în timpul fixării.

Tabelul XI.27

Caracteristici tehnice ale elevatorului pentru sondeze

Mărimea elevatorului	Raza de curbură a toartei	Raza de așezare a toartei	Deschiderea elevatorului	Lungimea elevatorului	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm					kN	kg/buc
33,5	26	10	28	475	10	5,300
42	26	12,5	33	500	30	7,700
50	26	17,5	38	520	80	16,200
50 RS	26	17,5	45	535	100	18,900

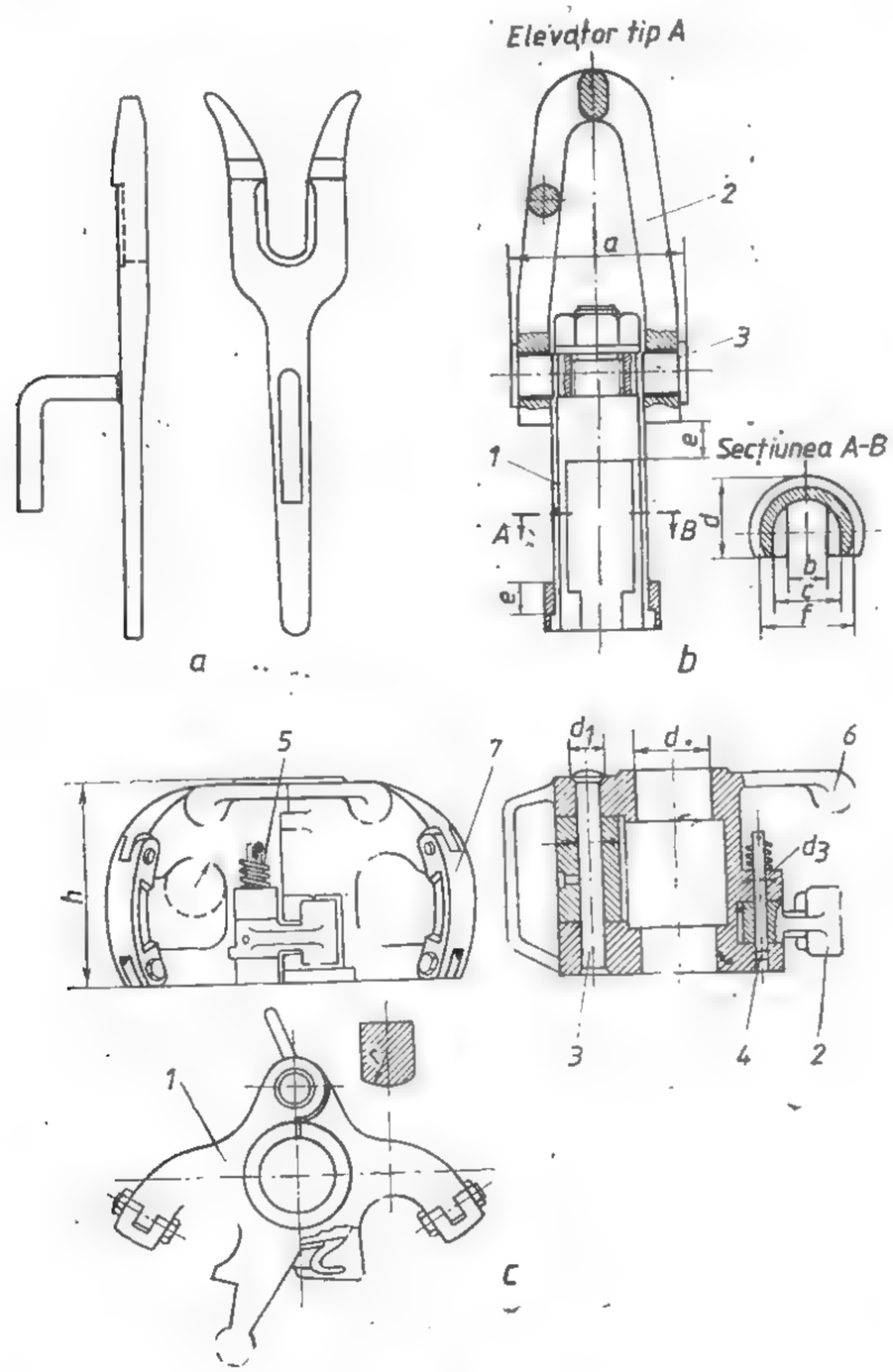


Fig. XI.92.

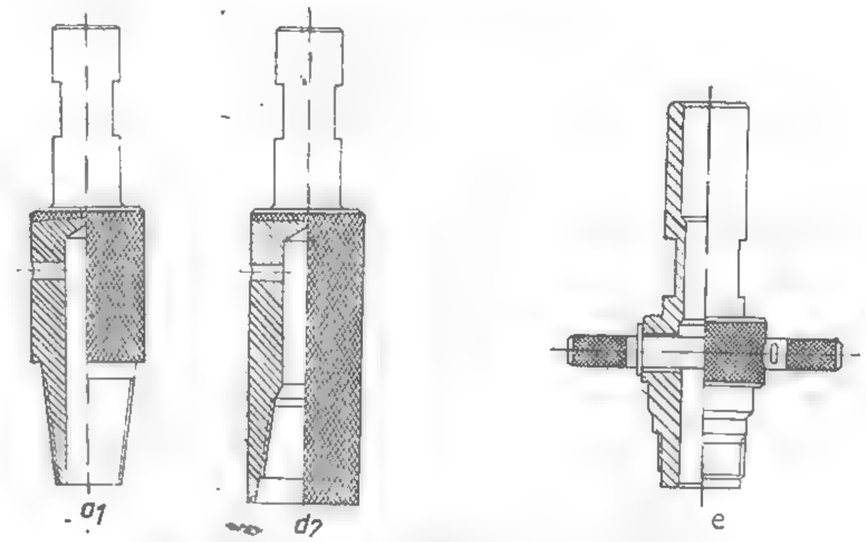


Fig. XI.92. Scule și dispozitive de ridicare :

a — furcă pentru prăjini; *b* — elevator pentru prăjini cu nipluri (*1* — corp; *2* — jug; *3* — ax); *c* — elevator pentru prăjini cu racorduri (*1* — corp; *2* — închizător; *3* — bolțul principal; *4* — bolțul închizătorului; *5* — arcul închizătorului; *6* — mînere; *7* — brațe de siguranță); *d* — suvei pentru manevrarea prăjinilor grele (*d1* — cu cep; *d2* — cu mufă); *e* — suvei pentru prăjini netede.

Broaștele cu pene pentru sondeze se execută în două tipuri:

— tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă acționată cu o pedală (fig. XI.93, *a*);

— tip PAM, cu pene articulate, acționate manual (fig. XI.93, *b*).

Fiecare din tipurile de broaște se execută în cîte două mărimi, funcție de sarcina maximă de lucru.

Caracteristicile broaștelor cu pene sînt date în tabelele XI.28 și XI.29.

Tabelul XI.28

Caracteristicile broaștelor cu pene tip P

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	*I*	*l*	*h*	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
P—3,2	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 51; 55,6	565	194	155	32	31,5
P—5	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 80; 89	615	217	157	50	39,7

Capul hidraulic. Prin construcția sa, capul hidraulic asigură legătura între partea fixă a instalației, formată din geamblac și macara, și partea mobilă care este garnitura de foraj ce se rotește continuu. El are rolul de a susține garnitura de foraj și tot prin el trece noroiul de la pompa de noroi în prăjinile de foraj.

La unele instalații de foraj cu sondeze (instalația FS-1C), la care lipsește universalul sau masa rotativă — funcția de rotire a garniturii de foraj este realizată de capul hidraulic.

El este format dintr-o serie de piese (corpul, toarta, capacul) care nu se rotesc în timpul lucrului și o altă parte formată din piese care se rotesc (țeava de spălare și rulmenții).

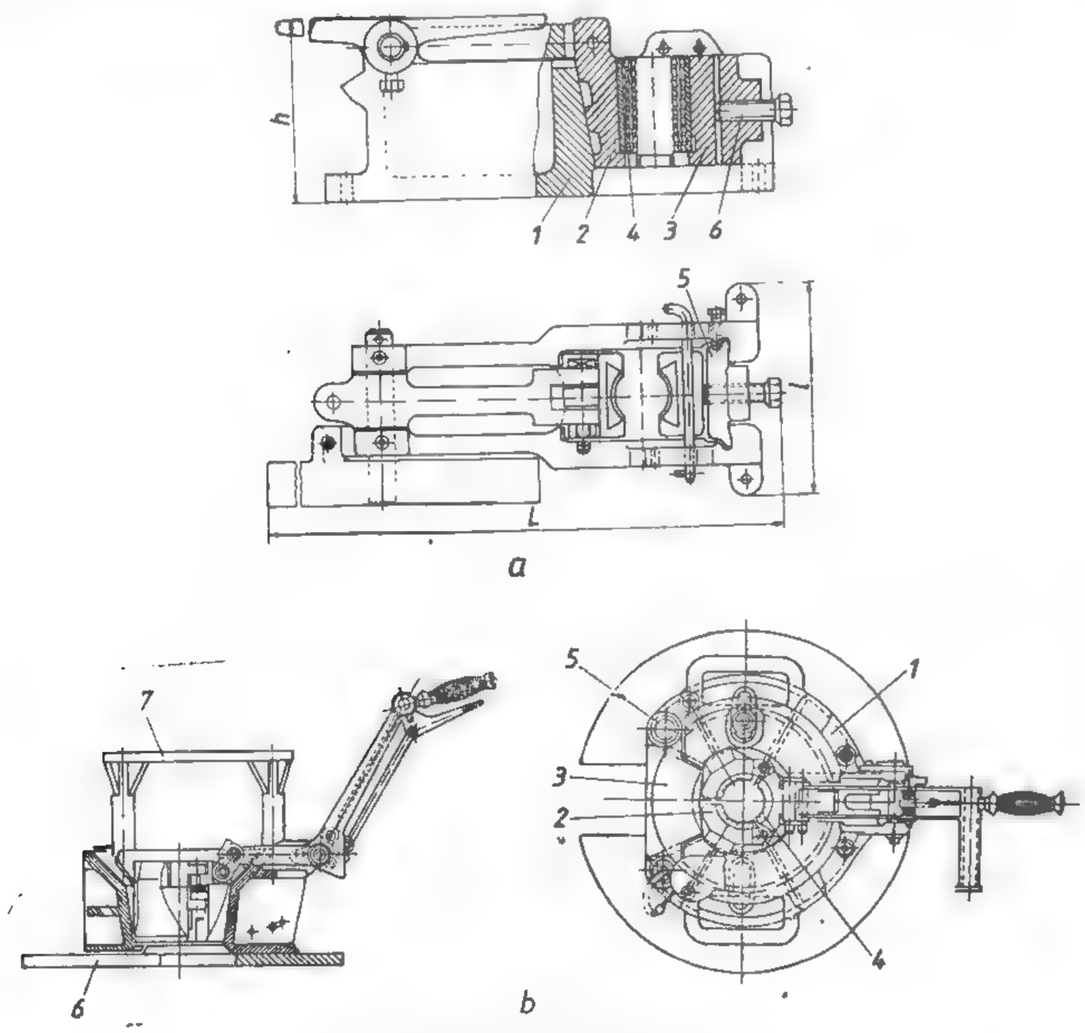


Fig. 2XI.93. Broaște cu pene:

a — tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă (*1* — corp; *2* — pană mobilă; *3* — pană reglabilă; *4* — cuțit; *5* — punte; *6* — șurub de reglaj); *b* — tip PAM cu pene articulate (*1* — corp; *2* — pană; *3* — ușă; *4* — cuțit; *5* — bolțul ușii; *6* — placă de bază; *7* — apărătoare).

La partea superioară, capacul hidraulic este prevăzut cu o presgarnitură și o lulea de care se leagă furtunul de foraj.

Capul de jos al tubului central are o reducție cu filet stînga (normal și special) care se înșurubează în mufa prăjinii de antrenare. Filetul stînga protejează prăjina de antrenare, care se rotește la dreapta, de deșurubare în timpul forajului.

Tabelul XI.29

Caracteristicile broaștelor cu pene tip PAM

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
PAM-10	50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 73; 80; 89	100	80
PAM-20	50; 60; 69,9; 73; 89; 108; 114; 127; 140	200	100

În funcție de metoda de lucru, capetele hidraulice sînt de două tipuri:

— tip ASz, folosite în cazul cînd în timpul forajului garnitura nu este suspendată de capul hidraulic (fig. XI.94, *a*);

— tip BSz, folosite în cazul suspendării garniturii în timpul forajului, prin intermediul capului hidraulic (fig. XI.94, *b*).

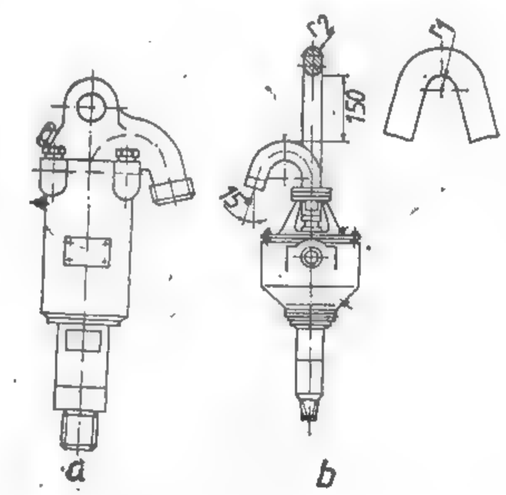


Fig. XI.94. Capete hidraulice.

Caracteristicile constructive ale celor două tipuri de capete hidraulice sînt date în tabelele XI.30 și XI.31.

Cablul de foraj. Face legătura între troliul de foraj, geamblac și macara. Unul din capetele cablului se leagă de toba granicului, iar celălalt capăt, după ce trece peste rolele geamblacului și ale macaralei, se leagă de turlă sau de macara. Cablurile folosite în foraj sînt cabluri rotunde, din sîrmă de oțel.

Ele sînt de două tipuri:

— cablu construcție normală, ale cărui toroane sînt formate din fire de același diametru;

— cablu compound (compus), ale cărui toroane sunt formate din fire cu diametre diferite.

Tabelul XI.30

Caracteristicile capului hidraulic tip ASz

Simbolul capului hidraulic	Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Turația maximă fără sarcină, [rot/min]	Presiunea maximă de lucru [bar]	Filetul de legătură cu prăjina conform STAS 1968-69	Filetul de legătură a lulelei la furtun
(CH 1200 ASz)	—	—	1200	12	Sz EW	M22 × 1,5
CH 1500/1,2ASz	12	6,3	1500	16	Sz EW	M45 × 2
(CH2000/1,6ASz)	16	10	2000	25	Sz AW	M45 × 2
CH 1500/3,2ASz	32	20	1500	40	Sz BW	M45 × 2
(CH1400/5ASz)	50	32	1400	35	RS50 stg STAS 5291-56	M45 × 2
CH1500/5 ASz	50	32	1500	63	Sz BW	M45 × 2
CH1500/8ASz	80	50	1500	63	Sz BW	M85 × 6
(CH 800/10 ASz)	100	63	800	63	$2^3/_8$ N stg. STAS325-67	M85 × 6
CH1500/20 ASz	200	125	1500	100	Sz NW	M85 × 6

Se execută din sîrmă de oțel mangan sau alte oțeluri superioare, cu grosimea firului de 0,2—5 mm.

Sistemul macara-geamblac. Ridicarea și coborîrea garniturii de foraj precum și susținerea ei în timpul lucrului se realizează printr-un sistem de scripeți ce se compune dintr-o parte fixă numită *geamblac* și o parte mobilă — *macaraua*. În cazul forajului de adîncime, la care se folosesc turlele de foraj, geamblacul se fixează în partea superioară a turlei.

Construcția geamblacului este în funcție de tipul de turlă (piramidală, mast, tripied) și de sistemul de înfășurare al cablului.

În cazu turlelor piramidale și al tripiedelor, geamblacul are rolele asamblate pe un singur ax (geamblac monoax sau monobloc).

La instalațiile de sondeze cu mast, la care agregatul de foraj se retractează și axa tobei este în același plan cu axa de retractare (SG-150; SG-300; SG-650) geamblacul este constituit din două role montate pe două axe (fig. XI.95). În acest caz una din cele două role are rolul de a conduce cablul respectiv.

Tabelul XI.31

Caracteristicile capului hidraulic tip BStz

Simbolul capului hidraulic	CH 5 BSz	CH 10 BSz	CH 20 BS	CH 32 BSz
Sarcina maximă de lucru, kN	50	100	200	320
Sarcina normală de lucru, kN	32	63	125	200
Sarcina dinamică echivalentă a rulmentului principal, F_{ech}, kN	30	60	80	160
Turația maximă, rot/min	400	400	500	500
Filetul reducției de legătură cu prăjina	RS 50 stg. STAS 5291-56	M45 × 2	RSI $2^3/_8$ N	Fl $2^7/_8$
Filetul de legătură a lulelei la furtun	RS 1—$2^3/_8$Nstg STAS 325-67	M 85 × 6	MS5	LP$2^1/_2$
Diametrul interior al țevii de săpare min., mm	22	27	27	40
Raza de curbură a toartei r_1, mm	40	45	45	76,20
Raza de așezare a toartei r_2, mm	15	20	20	76,20
Presiunea maximă de lucru, bar	35	63	63	100

Geamblacurile se execută pentru sarcinile maxime indicate în tabelul XI.32.

Distanța dintre rolele geamblacului este egală cu distanța între rolele macaralei.

Macaraua este utilajul care face legătura între cablul care trece peste rolele geamblacului și cîrligul de care este suspendată garnitura de foraj prin intermediul capului hidraulic.

Macaralele se execută în două tipuri constructive:

— tip A, cu dispozitiv rotitor pentru suspendarea sarcinii (fig. XI.96, *a*);

— tip B, cu bolț pentru prinderea cîrligului (fig. XI.96, *b*).

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze sînt redate în tabelul XI.33.

La forajul cu sondeze, cînd se folosește trepiedul pentru susținerea garniturii și pentru operațiile de manevră, geamblacul este înlocuit cu *scripetele pentru geamblac* cu una sau două role. Acesta este suspendat de bolțul de legătură al trepiedului, prin intermediul unei piese speciale numită *biglul geamblacului*.

Tabelul XI.32

Caracteristicile tehnice ale geamblacului

Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Numărul de roți pe axul principal	Diametrul exterior al roții principale și al roții de deviere, *d* [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
6,3	3,2	1	200	9
12	6,3	1	200	9
32	20	2	215	12
50	32	2	325	16
80	50	2	325	18
200	125	3	400	18
(16)	10	1	200	9
(50)	32	1	325	15
(70)	44	1	370	16

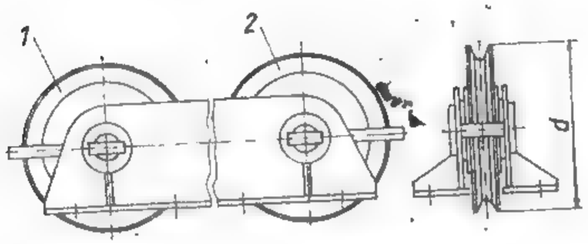


Fig. XI.95. Geamblac:
1 — roată de deviere; *2* — roată principală

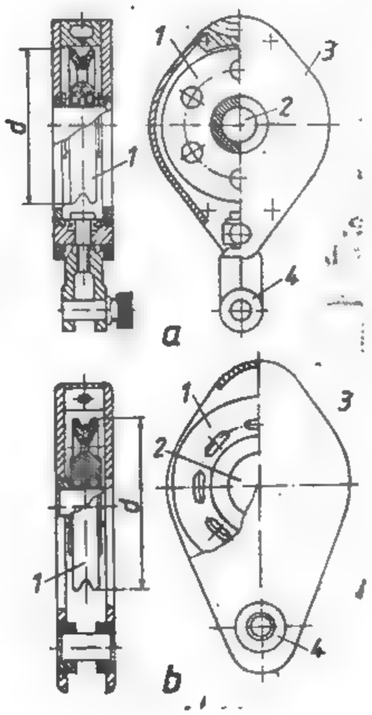
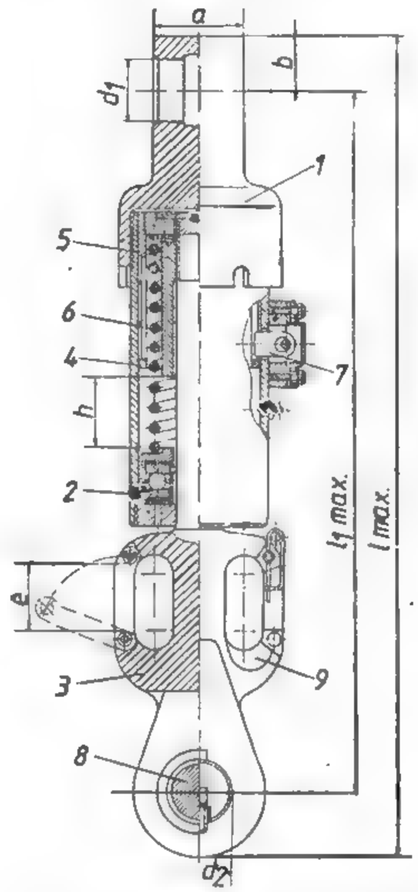


Fig. XI.96. Macarale:
a — tip A cu dispozitiv rotativ pentru prinderea sarcinii;
b — tip B cu bolț pentru prinderea cîrligului;
1 — role; *2* — ax; *3* — apărătoare; *4* — jug.



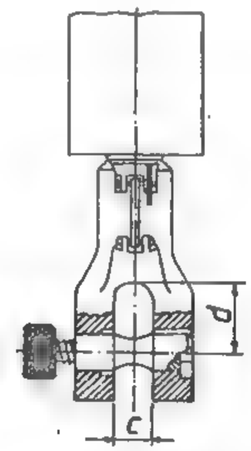


Fig. XI.97. Cîrlig:
1 — partea superioară care se articulează la macara; *2* — rulment axial; *3* — cîrligul propriu-zis; *4* și *5* — piese de sprijin a arcului; *6* — arc; *7* — piedică; *8* — bolț; *9* — umeri.

Cînd se lucrează cu trepied la sondezele mecanice, de rola geamblacului, prin intermediul cablului, se leagă rola cu cîrligul de foraj.

Cîrligul. Pentru foraj se folosesc cîrlige obișnuite formate dintr-un jug și corpul cîrligului (cioc), legate articulat. Ciocul poate fi îndoit sau drept.

Cîrligul utilizat la instalațiile moderne de sondeze se compune dintr-o parte fixă care se articulează cu partea superioară la macara, iar la partea inferioară are un rulment axial pe care se sprijină partea mobilă compusă din restul cîrligului (fig. XI.97).

Tabelul XI.33

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze

Tipul macaralei	Sarcina maximă de lucru la cîrlig [kN]	Sarcina normală de lucru la cîrlig [kN]	Numărul de roți	Diametrul exterior al roții *d* [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
A	32	20	1	215	12
	50	32	1	325	16
	80	50	1	325	18
	200	125	2	400	18
B	50	32	1	325	15

Caracteristica principală a cîrligului este sarcina pe care o poate suporta. Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze sînt date în tabelul XI.34.

Tabelul XI.34

Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze

Mărimea cîrligului	Sarcina maximă [kN]	Sarcina inițială a arcului [N]	a	b	c	d	d_1	d_2	e	h	max. l	l_1 max.	r
C 5	50	920	66	42,5	10	80	50	50	45	55	615	553	15
C 10	100	1850	125	45	60	105	50	60	55	80	795	690	25
C 20	200	1850	125	45	60	105	50	60	50	80	795	690	30
C 25	250	1850	161	62,5	80	120	70	70	60	120	956	824	45

Furtunul pentru foraj. Legătura dintre conducta de împingere a fluidului de foraj și capul hidraulic se realizează printr-un furtun. El se execută din cîteva straturi de pînză cauciucată, avînd la mijloc o întăritură de sîrmă.

3.6. TUBAREA ȘI CIMENTAREA GĂURILOR DE SONDĂ

În cazul forajului de explorare prin formațiuni slab consolidate, friabile, pentru a preîntîmpina dărîmarea pereților găurii de sondă, aceasta se tubează, iar pentru a preîntîmpina comunicația între strate se execută izolarea acestora prin cimentare.

3.6.1. TUBAREA

În rocile eruptive și chiar în unele roci sedimentare, cum sînt gresiile, calcarele etc., pereții găurii de sondă se pot menține nesusținuți; însă în rocile slab consolidate, ca nisipuri, argile, marne, pereții găurii de sondă se surpă dacă nu sînt susținuți. Susținerea pereților găurii de sondă se face cu ajutorul burlanelor, operație care se numește *tubare*. Tubarea găurilor de sondă are ca scop uneori nu numai susținerea pereților, ci și izolarea stratelor între ele, cum ar fi izolarea stratelor acvifere așezate deasupra sau dedesubtul stratelor productive, sau se execută tubarea în scopul exploatării (la sondele de apă, sare, petrol, gaze).

La forajul de explorare cu sondeze mecanice, la care se extrag carote pe toată adîncimea găurii de sondă și apoi aceasta este părăsită, tubarea pe toată adîncimea găurii de sondă se face numai în cazuri rare. De obicei, la începerea forajului unei găuri, se introduce un burlan de $7^5/_8$ in sau $8^5/_8$ in, în lungime de 2—4 m, care se cimentează. Rolul acestui burlan este de a consolida terenul la gaura gurii sondei și de a servi la ghidaj pentru foraj, precum și pentru dirijarea noroiului de foraj. În cazul cînd rocile de la suprafață sînt mai puțin consistente, atunci se susțin cu burlane de diametru $5^3/_8$in pînă la adîncimea de 50 m, săparea făcîndu-se în continuare fără susținere.

În cazurile cînd formațiunile ce se forează sînt afînate pe porțiuni mari, atunci se face tubarea conform unui program de tubare cu burlane de sondeze, STAS 1967—80, prin care se stabilesc: numărul coloanelor ce se vor tuba; diametrele și adîncimile acestora; tipul și diametrul sapelor folosite; cimentările coloanei de tubare și înălțimea de cimentare a fiecărei coloane.

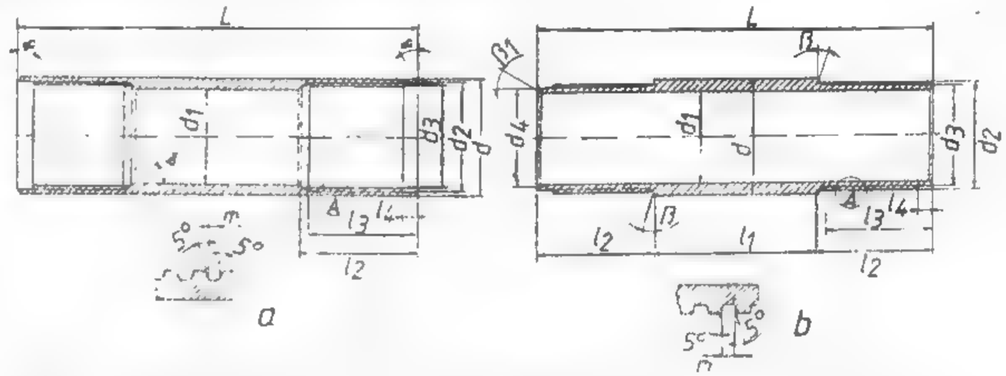


Fig. XI.98. Burlan (*a*) și niplu de legătură (*b*) pentru forajul cu sondeze.

Factorii care intervin în stabilirea programului de tubare sînt de ordin geologic (natura rocilor traversate, deranjamente tectonice, caverne etc), tehnic (tipul instalației de foraj, rezistența coloanelor, adîncimea interioară a găurii de sondă etc.) și economic (costul forajului, costul burlanelor etc.). În afară de acești factori, mai trebuie să se țină seama de obiectivul urmărit prin foraj.

Tubarea se face cu *burlane cu filet, cu nipluri de legătură* tip X (fig. XI.98), care se execută din oțel aliat OLT 65, 44 Mn 11, și 43 MoMn 16. Tipurile și dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze și niplurile de legătură ale acestora, conform STAS 1967—80, sînt date în tabelele XI.35 și XI.36.

Burlanele folosite pentru tubare trebuie să aibă o mare rezistență, pentru a putea face față eforturilor la care sînt supuse. Ele trebuie să reziste la orice condiții de manipulare, la tracțiune sub greutatea proprie, la presiunea interioară și exterioară. La proiectarea tubării se folosește diagrama, din care se citesc direct grosimile burlanelor în funcție de adîncime, astfel că nu este nevoie să se calculeze fiecare coloană în parte.

Cele mai importante solicitări la care este supusă coloana de tubare sînt solicitările la întindere, solicitarea la presiunea exterioară datorită presiunii exercitate de greutatea fluidului în spatele coloanei cînd gaura de sondă este golită parțial sau total, ca și împingerii exercitate de unele strate din spatele coloanei, solicitarea la presiunea interioară datorită presiunii de zăcămînt, solicitarea la încovoiere datorită devierii de la verticală a găurilor de sondă și solicitarea la flambaj, cînd coloana se înțepenește în teren sau se sprijină pe talpa găurii de sondă.

Înainte de efectuarea tubării se fac o serie de lucrări pregătitoare care constau în verificarea întregii instalații, curățirea găurii de sondă, omogenizarea fluidului de foraj prin circulație și înlocuirea sculelor de manevră pentru prăjini cu cele pentru burlane (clești, elevatoare etc.). Pentru a condnuce coloana de tubare în gaura de sondă, la primul

Tabelul XI.35

Dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 138,66
d_1	max. min.	50,80 50,55	65,07 64,82	80,95 80,57	104,78 104,39	130,51 125,30
L	max. min.	2974,54 2973,02	2962,81 2961,28	2962,81 2961,28	2950,72 2949,19	2948,94 2947,42
α		30°	30°	30°	30°	15°
d_2	max. min.	54,05 54,00	68,33 68,28	84,20 84,15	108,48 108,38	133,65 133,53
d_3	max. min.	52,45 52,40	65,94 65,89	81,81 81,76	106,04 105,97	131,24 131,14
l_2	min.	57,15	60,32	66,68	63,50	69,85
l_3	min.	53,98	57,15	63,50	57,15	66,68
l_4	max. min.	6,60 6,10	6,60 6,10	6,60 6,10	8,13 7,62	9,78 9,27
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Paşi pe 25,4 mm	—	8	8	8	5	5
δ	—	—	—	—	—	30°

Tabelul XI.36

Dimensiunile niplurilor de legătură pentru burlane folosite la forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 133,66
d_1	max. min.	48,67 48,41	60,58 60,32	76,58 76,20	100,38 100,00	127,38 122,30
L		177,80	196,85	209,55	215,90	228,60
l_1	max. min.	74,47 73,96	86,24 85,70	86,21 85,70	98,30 97,79	100,08 99,57
d_4	max. min.	50,67 50,04	64,14 63,50	80,01 79,38	104,27 103,63	129,41 128,78
β	max.	30°	30°	30°	30°	15°
β_1		30°	30°	30°	30°	30°
d_2	max. min.	53,95 53,90	68,22 68,17	84,10 84,05	108,30 108,23	133,45 133,38
d_3	max. min.	52,35 52,22	65,84 65,71	81,71 81,58	105,89 105,76	131,06 130,96
l_2	max. min.	52,07 51,56	55,75 55,24	61,98 61,47	59,18 58,67	64,64 64,14
l_3	min.	47,62	50,80	57,15	53,98	60,32
l_1	max. min.	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,00 4,50
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Paşi pe 25,4 mm		8	8	8	5	5

burlan se înșurubează o bucată scurtă de burlan cu pereți groși, numită *șiu* (STAS 2293—79). Pentru ca șiul să înainteze ușor în neregularitățile găurii de sondă, se montează în capul lui un dop de ghidaj care poate fi din lemn, ciment sau fontă (fig. XI.99).

Elementele accesorii ale coloanei de tubare sînt: *șiul* sau *sabotul*, *inelul de reținere*, care se montează între două bucăți de burlane la 10—20 m deasupra șiului, *dispozitivele de centrare a coloanei* care se montează pe coloanele tubate, pentru a centra coloana față de pereții găurii de sondă în vederea cimentării și *curățitoarele de colmatare* care se montează pe coloană pentru a îndepărta crusta depusă prin colmatare pe pereții găurii de sondă, de asemenea în scopul asigurării unei bune cimentări.

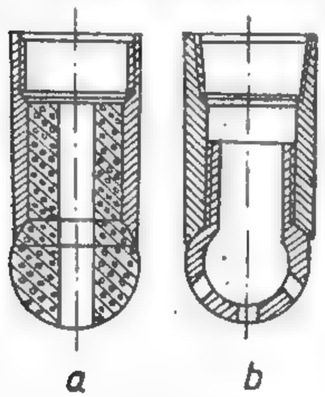


Fig. XI.99. Șiu:
a — cu dop de ciment; *b* — cu dop din fontă.

După condițiile de lucru și după scopul urmărit coloanele de tubare pot fi:

— *coloană de ghidaj*, care are rolul de a dirija fluidul de foraj, protejează pereții găurii de sondă și fundațiile instalației, izolează viiturile de apă din formațiunile de suprafață și suportă greutatea coloanei următoare de tubare;

— *coloana intermediară* se introduce atunci cînd apar dificultăți pentru atingerea adîncimii finale și are rolul de a izola sursele puternice de apă, să prevină surparea pereților găurii de sondă;

— *coloana pierdută* este o coloană de lungime relativ mică care se introduce pentru a susține o anumită porțiune din gaura de sondă sau porțiunea de la talpa găurii de sondă pînă la coloana precedentă. Ea se recomandă numai în cazuri cu totul speciale.

Dificultățile ce pot interveni în timpul tubării sînt: mansonarea coloanei, adică formarea în fața șiului a unui dop pe măsură ce coloana avansează, ca urmare a folosirii unui fluid necorespunzător la săpare; lipirea coloanei de pereții găurii de sondă în dreptul unor strate de marnă și argilă atunci cînd coloana nu este în mișcare; scăparea burlanelor și deformarea datorită forțării lor la introducere în gaura de sondă

3.6.2. CIMENTAREA

Prin cimentare se urmărește fixarea coloanei tubate cu terenul, în scopul izolării formațiunilor purtătoare de fluide sub presiune (țiței, apă) sau în scopul închiderii porilor și fisurilor stratelor în care are loc pierderea de circulație.

Se mai recurge la cimentare și în cazurile în care nu se pot lichida accidentele de fund (garnitura rămasă în gaura de sondă) sau se urmărește devierea găurii de sondă pentru atingerea obiectivelor geologice.

Cimentul folosit în operațiile de cimentare, în foraj este un ciment portland special, a cărui compoziție este arătată în tabelul XI.37.

După condițiile specifice în care se face cimentarea, timpul de priză trebuie mărit sau micșorat. În acest scop se introduc în laptele de ciment substanțe chimice care au rolul de acceleratori sau întîrzietori de priză. Ca *accelerator* se folosește clorura de calciu (Cl_2Ca) în proporție de 2—3% din cantitățile cimentului praf. Mai rar se

utilizează hidroxidul de potasiu, hidroxidul de sodiu și silicatul de sodiu. Ca *întîrzietori* de priză se utilizează gipsul (pînă la 2%), varul, tananții de sodiu etc.

În mod obișnuit se folosește laptele de ciment cu factorul apă-ciment $m = 0,4-0,6$. Acest factor reprezintă raportul dintre cantitatea de apă în cantitatea de ciment exprimate în kg.

Tabelul XI.37

Compoziția chimică a cimentului Portland

Componentul	%
Oxid de calciu, CaO	60—6
Bioxid de siliciu, SiO_2	17—25
Oxid de aluminiu, Al_2O_3	3— 8
Oxid de fier, Fe_2O_3	0,3— 6

Pentru ca cimentarea să-și atingă scopul, este necesar să se obțină inelul de ciment de aceeași grosime. În acest scop se montează pe coloana de burlane centrori, care înlătură lipirea burlanelor de pereții găurii de sondă și asigură centrarea acestora.

Dacă se urmărește cimentarea integrală a găurii de sondă, laptele de ciment se introduce prin prăjinile de foraj pînă la talpa găurii de sondă și pe măsură ce nivelul său se ridică se extrage o parte din prăjini.

După cimentare se determină adîncimea oglinzii cimentului și se ia probă din dopul de ciment, pentru a se vedea modul cum cimentul a făcut priză. Se verifică apoi etanșeitatea coloanei, pompînd fluidul de foraj la o presiune de 30 daN/cm² timp de 30 de minute. Dacă presiunea nu scade, coloana este etanșă.

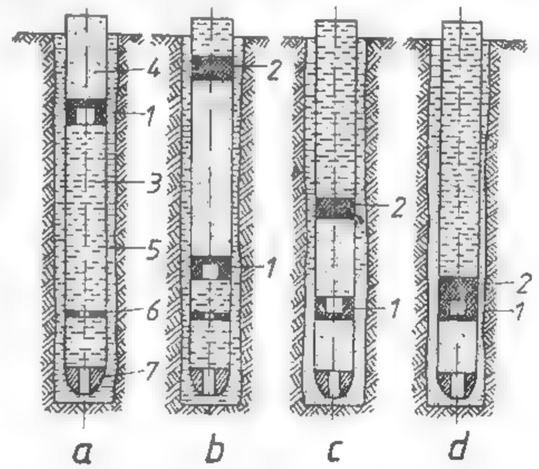


Fig. XI.100. Cimentarea cu două dopuri:
a — primul dop; *b* — începerea pompării fluidului de foraj după cel de-al doilea dop; *c* — refularea laptelui de ciment în spatele coloanei; *d* — terminarea operației; *1* — pompare laptelui de ciment; *2* — al doilea dop; *3* — noroi; *4* — ciment; *5* — burlane; *6* — inel; *7* — șiu.

Pentru realizarea cimentării de coloane se utilizează ca metode: cimentarea cu două dopuri, cimentarea cu coloană perforată, cimentarea etajată și cimentarea de coloană pierdută. Dintre acestea, în forajul de explorare se folosește cimentarea cu două dopuri (fig. XI.100) și cimentarea de coloană pierdută.

Cimentarea cu două dopuri. Constă în introducerea în coloană a primului dop de cimentare găurit, după care începe să se pompeze lapte de ciment. Se introduce apoi al doilea dop de cimentare, după care se pompează fluid de foraj. Cînd primul dop a ajuns la inelul de reținere, laptele de ciment trece prin primul dop și de aici prin șiu se ridică în spațiul inelar. Se continuă în felul acesta pomparea pînă cînd al doilea dop se așază peste primul dop, moment în care cimentarea este terminată.

Cimentarea de coloană pierdută. Laptele de ciment se pompează prin prăjinile de foraj, în cantitatea necesară umplerii spațiului inelar dintre coloana pierdută și pereții găurii de sondă. După aceea se pompează o cantitate de fluid egală cu volumul interior al coloanei pierdute și al prăjinilor de foraj. La terminarea pompării se degajează prăjinile prin rotire la stînga. La aplicarea acestei metode coloana pierdută se echipează cu șiu și valvă de reținere.

Reușita unei cimentări depinde de o serie de factori,dintre care mai importanți sînt: starea în care se află pereții de sondă, caracteristicile fluidului de foraj, mărimea spațiului inelar, calitatea cimentului și buna organizare a operației, precum și starea utilajelor.

3.7. DIFICULTĂȚI ȘI ACCIDENTE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul unei găuri de sondă dificultățile care pot surveni sînt: devierile mari față de verticală, pierderile mari de circulație și accidentele tehnice de foraj sau avarii care au loc în gaura de sondă. Acestea din urmă se mai numesc și *accidente de fund.*

3.7.1. DEVIEREA GĂURILOR DE SONDĂ

O verticalitate absolută a găurii de sondă nu se poate obține cu mijloacele actuale de lucru. Totuși, în mod practic se poate considera că forajul unei găuri de sondă poate fi condus fără dificultăți tehnice, atingînd obiectivul geologic final, dacă devierea de la verticală nu depășește 1° pentru fiecare 200 m foraţi.

Cauzele devierilor se pot grupa în trei categorii: cauze datorate instalării sau montajului greșit, cauze de ordin geologic și cauze de ordin tehnologic.

Cauzele datorate montajului greșit. O turlă sau trepied montate excentric, o fundație slabă sau un burlan de ghidaj rău centrat sînt cauze ale devierilor.

Cauze de ordin geologic. Anizotropia rocilor, înclinările prea mari ale stratelor sau schimbările de tării ale rocilor, prezența concrețiunilor silicioase, a golurilor carstice etc. în timpul săpării pot produce devierea găurii de sondă (fig. XI.101, *a*).

Cauze de ordin tehnologic. Între acestea se situează apăsarea exagerată pe sapă, aplicată în dorința de a obține o viteză mecanică sporită, numărul mic de rotații și debitul de spălare prea abundent în roci friabile, folosirea de scule improprii, tuburi de carotiere strîmbe, scurte sau înfiletate excentric, sape sau coroane prea uzate etc.

O deviere este semnalată prin unele indicii destul de precise. Astfel, la cîrlig apare o sarcină mai mică decît cea normală în timpul introducerii garniturii și invers, o sarcină mult sporită la extragerea garniturii și o rotire dificilă a garniturii libere în gaura de sondă.

Elementele care caracterizează devierea unei sonde sînt: *unghiul zenital z*, care arată devierea axei sondei față de verticală, și *azimutul α*, adică unghiul diedru pe care-l face planul axei sondei cu o direcție anumită, luată ca reper, spre exemplu direcția nord-sud (fig. XI.101, *b*).

Măsurarea unghiului zenital se face în mod simplu, folosind fie sticla cu acid fluorhidric, fie bara cu sulfat de cupru.

Măsurarea mai precisă a unghiurilor zenitale se face cu ajutorul *goniometrului* sau cu *înclinometrele* care pot fi: giroscopice, magnetice și orientate (tabelul XI.38).

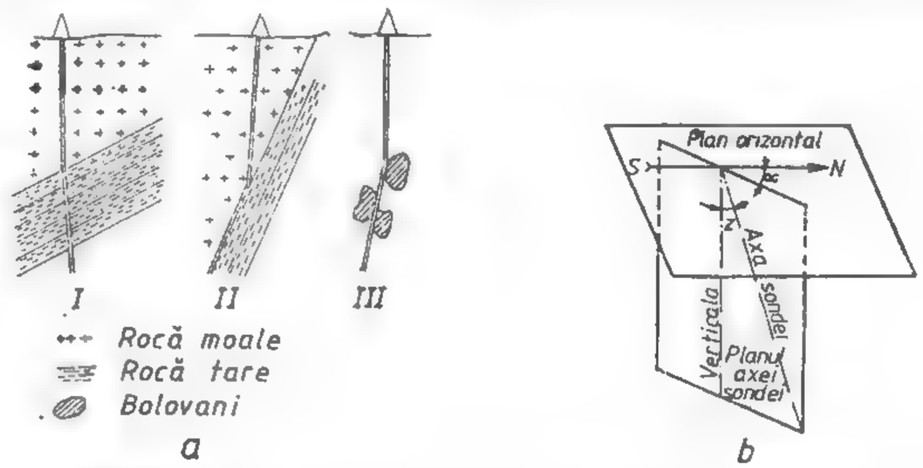


Fig. XI. 101 Devierea găurii de sondă din cauze de ordin geologic (*a*) și elementele găurii de sondă deviate (*b*).

Îndreptarea sondelor deviate. Este o operație dificilă, costisitoare și de lungă durată.

Rectificarea unei sonde deviate se poate încerca prin una din metodele următoare:

— îndreptarea printr-un dispozitiv articulat;

— îndreptarea prin pană de deviere și foraj dirijat;

— cimentarea porțiunii deviate și resăparea ei pe intervalul respectiv;

— torpilarea găurii deasupra locului de deviere și apoi tubarea cu o coloană de burlane.

Forajul dirijat. Sînt cazuri cînd prin săparea unei găuri de sondă verticală nu se poate atinge zăcămîntul de substanță utilă. Aceste cazuri se ivesc în următarele situații:

— substanța utilă se găsește în filoane de mică grosime, așezate aproape vertical (fig. XI.102, *a*);

— forajul se execută în imediata apropiere a unei halde sau mine exploatate (fig. XI.102, *b*);

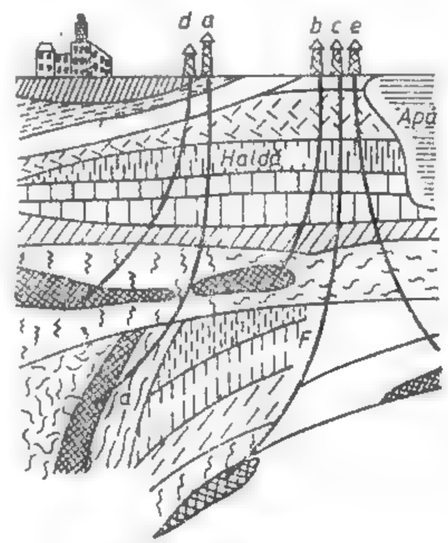


Fig. XI.102. Forajul dirijat.

— stratificația prezintă dislocări tectonice și îndeosebi falii, care fac să scape substanța utilă (fig. XI.102, *c*);

— stratul urmărit se găsește sub diverse construcții (fig. XI.102, *d*);

Aparate de măsurat devierea pentru forajul cu sondeze. Tipuri și caracteristici tehnice principale

Caracteristici	Românesc	Sovietice						Eastman — R.F.G.			
	Zipser	IS-2	IS-3	IS-4	IK	UMI-25	MIA-3	IG-2	Easteco	Single shot Tip A	Multiple shot
Unghiul față de verticală (zenital) [grade]	0—15° / 0—45°	0—48°	0—50°	0—50°	0—50°	0—50°	0—60°	0—60°	0—30°	0—20° 15—90°	0—12° 0—17° 15—90°
Unghiul în plan orizontal (azimutal) [grade]	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°	0—360°
Eroarea la măsurarea devierii	±30′	±15′	±30′	±30′	±15′	±30′	±30′	±30′	±15′	±12′	±12′
Eroarea la măsurarea azimutului	±10°	±5°	±5°	±5°	±5°	±4°	±5°	±5°	±3°	±3°	±3′
Diametrul aparatului [mm]	60	45	50	50	45	—	—	70	32	32	32
Lungimea aparatului [mm]	300	800	800	800	800	—	—	400	610	610	1 066
Diametrul carcasei [mm]	75	60	65	65	60	25	33	89	45	48	50
Lungimea carcasei [mm]	1 500	2 500	2 185	2 185	2 500	800	1 000	2 500	800	1 000	1 500
Numărul de puncte măsurate într-o lansare în sondă	3	nelimitat							unu	unu	350
Felul înregistrării	înregistrare mecanică pe disc de carton	Se citește la suprafața sondei pe un galvanometru mărimea potențialului electric, iar acesta se calculează în grade sexacesimale							înregistrare mecanică pe disc de carton	înregistrare electrică pe placă fotografică	înregistrare electrică pe film de 10 mm
Felul introducerii în sondă	cu prăjinile	cu cablul trifilar			cu cablul monofilar		cu cablul trifilar		cu cablul monofilar sau cu prăjinile		
Tensiunea curentului continuu [V]	—	100	60	90	60	12	12	12	—	1,5	12
Tensiunea curentului alternativ [V]	—	127/220				—	—	127/220		—	—

— stratul se află sub apă, mlaștină sau locuri inaccesibile (fig. XI.102, *e*).

În aceste cazuri și în altele similare, este necesar ca sonda să fie săpată înclinat într-o anumită direcție, spre a ajunge într-un punct dinainte stabilit.

Acest foraj dirijat se poate realiza în mai multe feluri:

— orientînd gaura de sondă de la început în direcția voită;

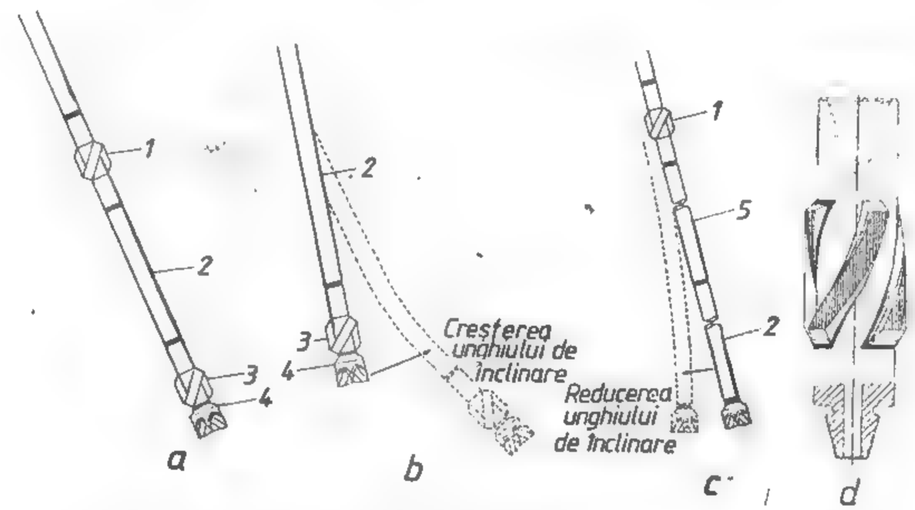


Fig. XI.103. Devierea voită a găurii de sondă cu ajutorul stabilizatoarelor:

a — foraj direcțional cu unghi de înclinare constant; *b* — foraj direcțional cu creșterea unghiului de deviere (înclinare); *c* — foraj direcțional cu reducerea unghiului de deviere; *1* — stabilizator pentru garnitura de foraj; *2* — prijină grea antimagnetică; *3* — stabilizator situat deasupra sapei; *4* — saopă; *5* — prăjină de foraj; *d* — stabilizator (detaliu).

— dînd găurii sondei o înclinare progresivă în formă de arc;

— executînd un foraj vertical la o adîncime de 50—60 m, după care se imprimă înclinarea în arc.

Devierea voită a unei găuri de sondă se face cu ajutorul unor scule speciale numite *stabilizatoare*, așa cum se vede în fig. XI.103.

3.7.2. PIERDERI DE CIRCULAȚIE

În formațiunile străbătute, uneori se produc pierderi de circulație. Cauzele pierderilor de circulație pot fi de natură geologică sau tehnologică.

Cauzele geologice se datoresc stratelor neconsolidate (nisipuri și gresii), formațiunilor faliate, prezenței golurilor cavernoase sau a stratelor poroase ai căror pori sînt cel puțin de trei ori mai mari decît particulele maxime ale fluidului de foraj.

Cauzele tehnologice constau fie în creșterea presiunii exercitate pe strat, fie prin debite prea mari de circulație sau prin utilizarea unui fluid calitativ necorespunzător (greutate specifică mare, gelația fluidului etc.).

Detectarea pierderii se face printr-una din metodele actuale: măsurarea vitezei de curgere în spațiul inelar, măsurarea variației de temperatură a fluidului din sondă sau prin tensori radioactivi.

Măsurile de ordin tehnic, de prevenire sau micșorare a cuantumului pierderilor de fluid în formațiunile respective, constau în formarea fluidului adecvat calitativ, căruia i se vor controla frecvent caracteristicile principale: vîscozitate, greutate specifică și gelație. La intrarea în formațiune se aplică un regim de foraj cu presiune axială redusă și debite reduse. Se evită manevrele rapide și pornirile bruște ale pompei. De la caz la caz se mai pot aplica și alte metode, ca: blocarea cu produse lamelare, fibroase și granulare introduse în fluidul de foraj, cimentarea, silicatizarea etc.

3.7.3. ACCIDENTE DE FORAJ

Avariile cele mai frecvente, la forajul cu sondeze, se produc la garnitnrile de foraj (ruperi de prăjini sau smulgeri de filet datorită prinderii sau înțepenirii garniturii în gaura de sondă) sau prin scăpările de scule sau de obiecte mici în gaura de sondă.

Accidentele (avariile) pot fi provocate din următoarele cauze:

— utilizarea unor instalații de foraj, prăjini sau scule necorespunzătoare;

— aplicarea unui regim tehnologic greșit;

— lipsa de calificare a personalului, asociată cu lipsa unui control periodic al operațiilor;

— condiții geologice grele sau speciale.

Pentru rezolvarea accidentelor ce pot survenl în timpul forajului se procedează în felul următor:

Ruperile de prăjini se rezolvă prin introducerea dornului, a tutei sau a coruncii, după cum se prezintă capul-deșurubat sau rupt.

Dornurile se utilizează în două variante de montaj — cu pălărie și fără pălărie. Dornul are filet dreapta sau stînga tăiat pe toată suprafața conică. Pe toată lungimea filetată, dornul are tăiate canale în scopul degajării șpanului în timpul tăierii filetului în prăjini.

Se utilizează trei tipuri de dornuri:

— tip W normale, pentru prinderea corpului de prăjină tip W (fig. XI.104, *a* și *b*; tabelul XI.39);

— tip W scurte, pentru prinderea [niplului de legătură la prăjini tip W (fig. XI.104, *c*; tabelul XI.40);

— tip Q, pentru prinderea corpului de prăjină tip Q (fig. XI.104, *d*; tabelul XI.41).

Tuta se folosește pentru prinderea prin înșurubare la exterior a prăjinilor, atunci cînd diametrul prăjinii rămase în gaura de sondă este prea mic și cînd introducerea dornului nu este posibilă sau nu dă rezultate. Tutele se execută în două variante:

— tip TA și TB (fig. XI.105, *a*; tabelul XI.42), pentru prăjini cu diametrul de 35,5 mm, 42 mm și 50 mm;

— tip BW și NW (fig. XI.105, *b*; tabelul XI.43), pentru prăjini de foraj și nipluri seria W.

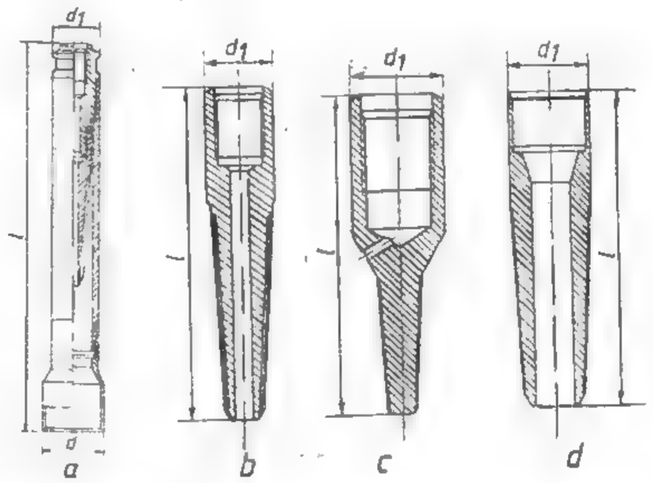


Fig. XI.104. Dornuri pentru instrumentat prăjini.

Corunca (fig. XI.106) este scula care se poate folosi la rezolvarea tuturor cazurilor de rupere sau de smulgere a garniturii de foraj. Ea prinde la exteriorul corpului prăjinilor, prin intermediul unor bacuri dințate. După sistemul de degajare a sculei prinse, coruncile sînt de două tipuri:

— coruncă normală la care degajarea se face prin rotire;

— coruncă cu declanșare, la care degajarea se face prin apăsarea coruncii pe corpul prins, după care se extrage.

Tabelul XI.39

Caracteristici tehnice ale dornului tip W normal

Tipul dornului	Diametrul exterior		Lungimea		Diametrul de prindere		Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	al dornului	al pălăriei	dornului	totală	minim	maxim		
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	230	630	17,5	31,5	160	5
AW	43,7	71	240	488	25,4	40	230	7
BW	54	95	273	618	31	49	360	11
NW	66,7	116	305	711	41,2	62,2	430	12

Pentru aducerea garniturii care se instrumentează la centrul găurii de sondă se folosesc *cîrlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică* (fig. XI.107).

După înșurubarea dornului, tutei sau coruncii se restabilește circulația și se execută tracțiunea pentru extragere. Aceasta constituie operația curentă în cazul garniturii libere.

Tabelul XI.40

Caracteristici tehnice ale dornului tip W scurt

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Diametrul exterior al pălăriei	Lungimea dornului	Lungimea total	Diam. de prindere minim	Diam. de prindere maxim	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	167	408	7,9	16,8	30	3
AW	43,7	71	176	428	12,7	22	70	6
BW	54	95	190	439	15,8	26	100	8
NW	66,7	116	203	451	31,8	42	280	9

Prinderea garniturii în gaura de sondă. În cazul unei prinderi se exercită imediat o tracțiune cu troliul, pentru degajare.

O prindere poate surveni din cauza crotierei prinse sau în cele mai multe cazuri din cauza dărîmării, manșonării sau acumulării de detritus în talpă sau chiar în gaura-cheie. Degajarea din gaura-cheie se rezolvă nu prin tracțiune, ci din contră, prin lăsarea în jos a garniturii și schimbarea de poziție.

Tabelul XI.41

Caracteristici tehnice ale dornului tip Q

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Lungimea dornului	Diametrul de prindere minim	Diametrul de prindere maxim	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	d_1 [mm]	l [mm]	mm		kN	kg
BQ	57	265	39	57	170	3
NQ	72	280	53	72	250	4
HQ	92	290	71	92	300	7

În celelalte cazuri, prima măsură este reconditionarea fluidului cu menținerea neîntreruptă a circulației.

În caz de nereușită se va introduce țiței în circuit în pachete, care să se ridice în spatele garniturii pe 50—60 m sau se va face o circulație integrală cu țiței.

Simultan cu procedeele de circulație indicate mai sus, se va face și o tracțiune asupra garniturii, limitată la rezistența prăjinilor, după indicațiile drilometrului.

Obiecte mici scăpate în gaura de sondă. În asemenea cazuri trebuie procedat la o recunoaștere a poziției ce o ocupă obiectul la fund.

Tabelul XI.42

Caracteristici tehnice ale tutelor tip TA și TB

Simbolul tutei	Filetul racordului	d	D	l	L	Diametrul de prindere min.	Diametrul de prindere max.	Masa
		mm				mm		kg
TB 20-36	AW	46	—	240	—	22	29	2
TA_1 26-38	AW	56	—	390	—	28	32	4
TB 28-45	BW	57	—	270	—	30	38	3
TA_1 34-46	BW	64	—	400	—	36	40	6
TA_1 42-54	NW	72	100 120 140	410	530 550 570	44	48	7
TA_1 50-68	NW	90	100 120 140	520	630 650 670	52	62	10
TA_2 44-48	NW	108	—	550	—	46	81	20

Tabelul XI.43

Carsacteritici tehnice ale tutelor tip BW și NW

Dimensiunea nominală a tutei, d	Filetul racordului	Lungimea tutei	Diametrul de prindere min.	Diametrul de prindere max.	Masa aproximativă
mm		mm	mm		kg
58,0	BW	213	38,9	54,3	1
72,5	NW	241	51,6	67	2
95,2	HW	275	72,2	90	3

În acest scop se introduce un model de ceară simplu cu ajutorul prăjinilor. Alteori modelul poate fi executat dintr-un burlan căruia i se sudează în partea inferioară o placă de 15 mm grosime, spre a crea un compartiment în care se toarnă plumb menținut în interior prin sîrmă și cuie (fig. XI.108).

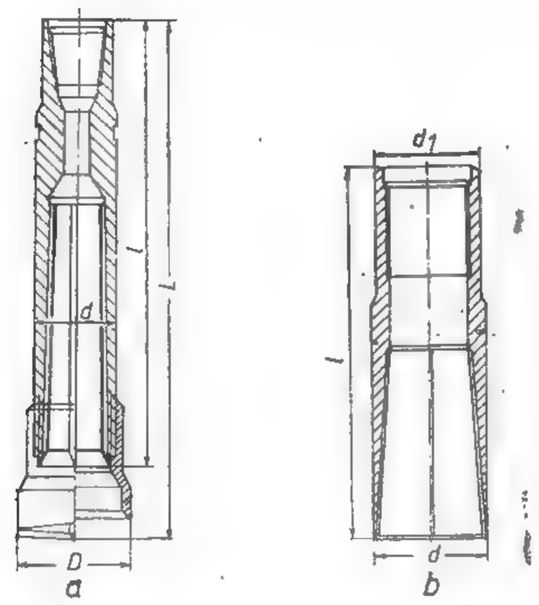


Fig. XI.105. Tute pentru prăjini de sondeze.

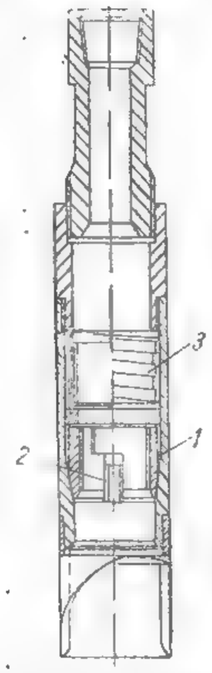
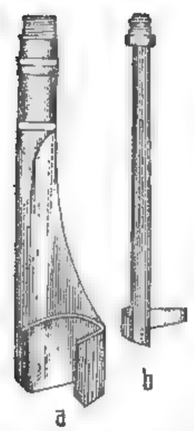


Fig. XI.106. Coruncă: *1* — bacuri; *2* — pene; *3* — arc spiral.



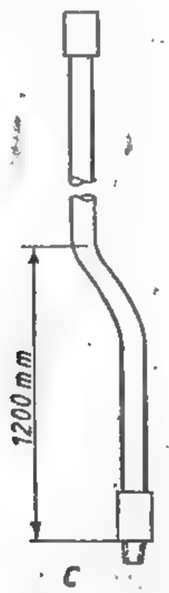


Fig. XI.107. Cîrlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică: *a* — pentru pris; *b* — pentru îndreptat; *c* — prăjină excentrică.

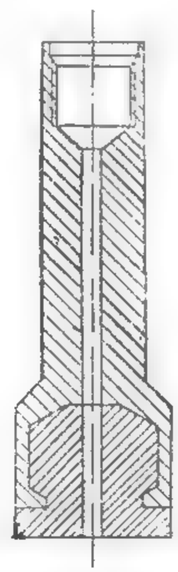


Fig. XI.108. Model cu plumb.

Un alt mijloc este folosirea frezei magnetice.

În terenurile moi, obiectele scăpate în gaura de sondă (bacuri de clești, șuruburi, piulițe etc.) sînt împinse în perete de sapa dreaptă.

Sculele de instrumentație folosite pentru prinderea obiectelor căzute în gaura de sondă sînt: *gura de lup* (fig. XI.109, *a*), *păianjenul* (fig. XI.109, *b*), *magnetul pentru instrumentație* (fig. XI.109, *c*), *frezele* cilindrice (fig. XI.109, *d*).

Tabelul XI.44

Caracteristici tehnice ale frezelor de așchiat obiecte metalice

Dimensiunea nominală (filetul de îmbinare)	EW	AW	BW	NW	NW	NW
Diametrul exterior al frezei [mm]	36,8	47,5	59	75	91,5	98,5
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafața frontală		Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală			
Lungimea frezei [mm]	150	165	220	270	285	300
Masa netă informativă [kg]	0,900	1,280	2,940	5,240	6,470	8,430

Frezele cilindrice sînt de trei tipuri:

— freze tip W, pentru așchiat obiecte metalice (tabelul XI.44) prevăzute pe suprafața frontală și laterală cu dinți din aliaj dur (fig. XI.109, d_1) sau cu dinți din corp (fig. 109, d_2);

— freze pentru așchiat prăjini de foraj W (fig. XI.109, d_3) și Q (fig. XI.109, d_4), cu dimensiunile din tabelul XI.45;

Tabelul XI.45

Caracteristici tehnice ale frezelor pentru așchiat prăjini de foraj

Dimensiunea bominală	BW	NW	BQ	NQ
Filetul de îmbinare	BW	Sz 50	BQ	NQ
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală		Cu dinți pe suprafața frontală	
Lungimea frezei [mm]	370	405	130	150
Masa netă informativă [kg]	5,140	8,550	0,470	2,930

— freze cu premergător pentru așchiat tuburi carotiere WG (fig. XI.109, d_5, tabelul XI.46), prevăzute cu dinți sub formă de lame din oțel rapid pe suprafața frontală și laterală.

Pentru obiecte mari scăpate se recurge uneori la devierea găurii.

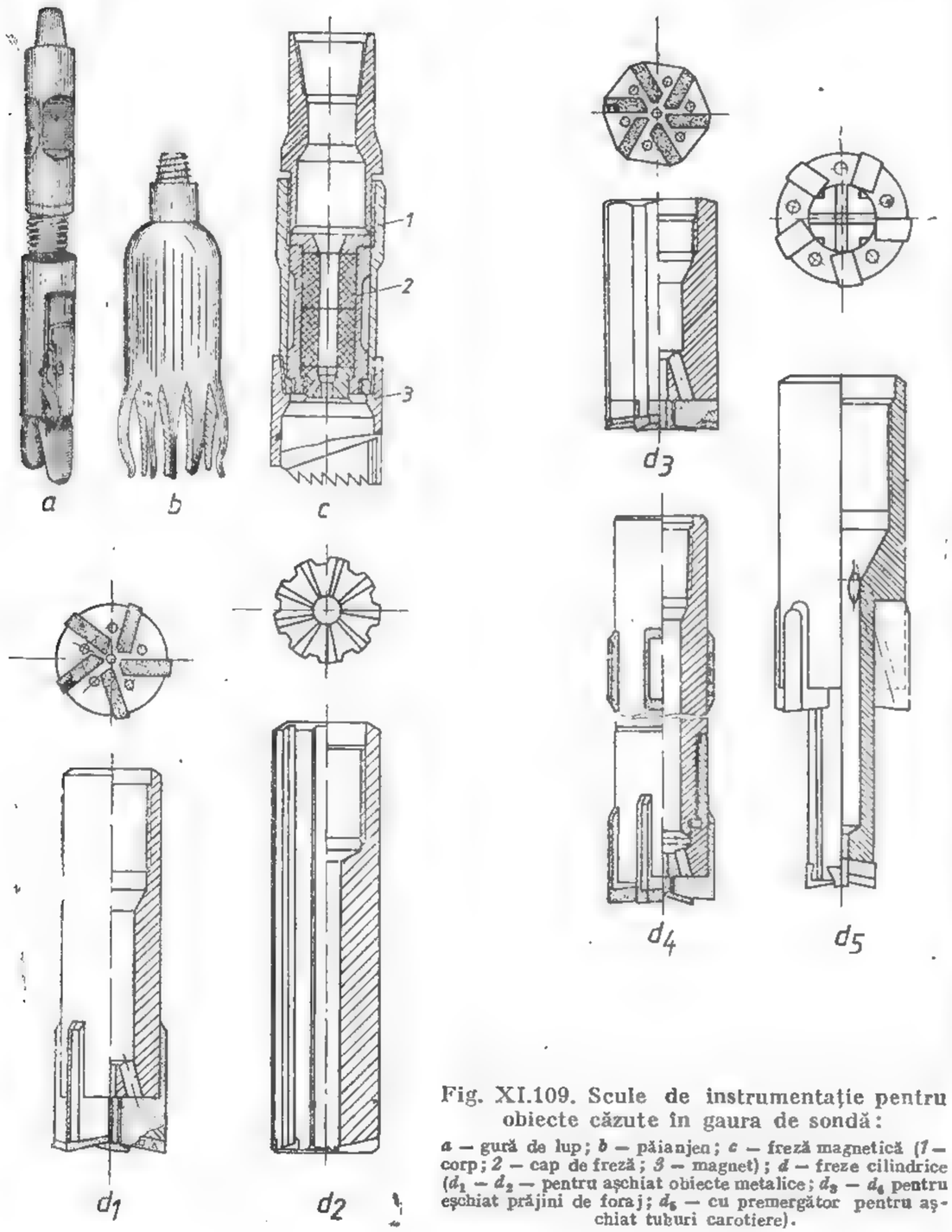


Fig. XI.109. Scule de instrumentație pentru obiecte căzute în gaura de sondă:

a — gură de lup; *b* — păianjen; *c* — freză magnetică (*1* — corp; *2* — cap de freză; *3* — magnet); *d* — freze cilindrice (d_1 — d_2 — pentru așchiat obiecte metalice; d_3 — d_4 pentru eșchiat prăjini de foraj; d_5 — cu premergător pentru așchiat tuburi carotiere).

Cînd obiectul este însă mic și dintr-un material nu prea dur sau cînd terenul este foarte tare, el se poate ataca cu o freză masivă, în scopul de a-l transforma în așchii. Frezele pot fi cu acțiune frontală, acțiune exterioară sau interioară obiectului de frezat.

Tabelul XI.46

Caracteristici tehnice ale frezelor cu premergător

Simbolul tubului de carotieră de frezat	AWG	BWG	NWG	HWG
Diametrul exterior al frezei [mm]	47,5	59	75	98,5
Diametrul exterior al premergătorului [mm]	24	35	48	70
Filetul de îmbinare al frezei	AW	BW	Sz 50	2 $^3/_8$
Lungimea frezei [mm]	180	180	200	220
Masa frezei [kg]	0,866	1,078	1,900	4,055

Accidente de burlane. În cazul scăpării de burlane în gaura de sondă sau al smulgerii lor din filet, se introduce un model care atată atît starea mufei cît și adîncimea la care se află. Dacă mufa este bună se va proceda la întregirea coloanei prin introducerea cu ajutorul prăjinilor a unui cep cu filet identic. Dacă partea de jos este ușor ovalizată se va proceda la îndreptarea ei cu ajutorul bîrnelor progresive.

Cabluri rămase în gaura de sondă. Se întîmplă uneori ca instrumentele de măsurat devierea sau cu care se face carotajul electric sau alte operații speciale să se înțepenească în gaura de sondă. În cazul cînd cablul s-a rupt, rămînînd îngrămădit în gaura sondei, se va opera cu *cîrligul* (fig. XI.110, *a*) sau cu *ghimparul* (fig. XI. 110, *b*). Cîrligul are un cioc de prins la partea de jos, iar ghimparul mai multe ciocuri laterale.

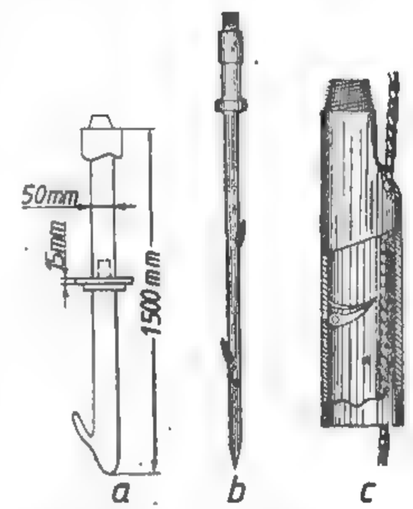


Fig. XI.110. Scule pentru rezolvarea accidentelor tehnice provocate de ruperea cablului.

În cazul înțepenirii aparatului de măsură introdus cu cablu, degajarea cablului se face prin tăiere cu ajutorul unui *cuțit* (fig. XI.110, *c*), imediat deasupra aparatului înțepenit. După tăierea și extragerea cablului se instrumentează pentru extragerea aparatului rămas în gaura de sondă.

Procedeele de lucru și sculele folosite aparțin unui domeniu foarte variat, în care practica, ingeniozitatea și perseverența trebuie împletite pînă la rezolvarea cazului.

3.8. INSTALAȚII DE FORAJ — SONDEZE MECANICE

Sondezele mecanice sînt construite pentru adîncimi care variază de la 50 pînă la 2 000 m.

O instalație de foraj cu sondeze mecanice constă din următoarele părți:
— turla, trepiedul sau mastul cu geamblacul și macaraua;
— troliul de manevră cu angrenajele respective;
— dispozitivul de rotire;
— dispozitivul de avansare;
— pompa de noroi cu anexele sale;
— instalația de forță.

Caracteristice pentru sondezele mecanice sînt dispozitivele de rotire și de avansare, care se deosebesc de mecanismele cunoscute la granicele de mare adîncime.

După *modul de acționare a dispozitivului de avansare*, sondezele mecanice rotative se clasifică în:
— sondeze cu manevrarea dispozitivului de avansare și de rotire cu aer comprimat;
— sondeze cu manevrarea sistemului de avansare hidraulic.

După *felul transportului și montajului*, sondezele se clasifică în:
— portabile, care sînt ușoare și se pot transporta ușor în subansambluri;
— staționare sau fixe, care necesită fundații la fiecare locație;
— semitransportabile, la care unele subansambluri se transportă, altele sînt fixe pe sănii care se tractează;
— transportabile, la care întreaga instalație este fixată pe o platformă prevăzută cu roți, șenile, sănii;
— autotransportabile sau autopurtate, care au toate subansamblurile montate pe un singur mijloc de transport — camion, tractor etc.

După *adîncimea de forare* și *după capacitatea de susținere și manevrare a echipamentului de manevră*, sondezele se clasifică în:
— foarte ușoare, cu adîncime de forare pînă la circa 50 m și capacitate de susținere de pînă la 5 kN;
— ușoare, pînă la 200 m adîncime și circa 20 kN capacitate de susținere;
— mijlocii, pînă la 600 m adîncime și circa 50 kN capacitate de susținere;
— semigrele, pînă la 1 200 m adîncime și circa 125 kN capacitate de susținere;
— grele, pînă la 2 000 m adîncime și circa 200 kN capacitate de susținere.

Sondeze cu manevrare cu aer comprimat a dispozitivului de avansare și rotire. Aceste tipuri de sondeze se folosesc în lucrările subterane unde există instalații de producere a energiei sub forma aerului comprimat.

Ele sînt folosite atît în explorare, pentru cercetarea zonelor mineralizate cuprinse între diferite lucrări miniere, cît și în exploatare, pentru executarea suitorilor, sau la săparea lucrărilor miniere orizontale și verticale.

După adîncimea pînă la care pot să foreze și după modul în care se fixează instalația mecanică de foraj, se cunosc sondeze acționate cu aer comprimat, folosind o singură coloană de fixare și sondeze cu două coloane de fixare. Cu primele se pot fora găuri de sondă pînă la adîncimea de 100 m, iar cu celalte pînă la 200 m.

Sondeze cu manevrare hidraulică a dispozitivului de avansare. Sondezele de acest tip prezintă o perfecționare a instalațiilor de foraj, atît sub aspectul construcției cît și al modului de funcționare.

Din tipul de sondeze cu avansare hidraulică fac parte sondezele de construcție romînească seria SG, sondezele de construcție sovietică ZIF, precum și numeroase alte instalații cu construcție străină.

Mecanismul de avansare cu piston cu unul sau doi cilindri, acționat hidraulic, este aplicat la majoritatea sondezelor de la adîncimea de 200 m pînă peste 2 000 m.

Schema generală a sistemului de avansare hidraulică este redată în fig. XI.111.

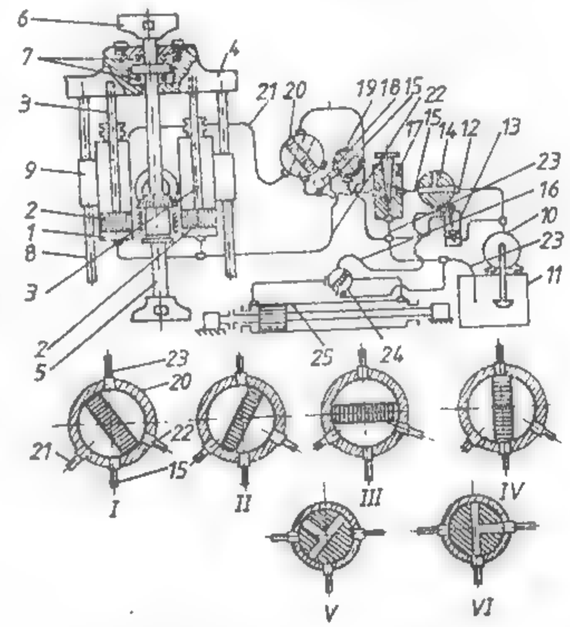


Fig. XI.111. Schema generală a sistemului de avansare hidraulică.

Sistemul de avansare hidraulic constă în doi cilindri *1* cu pistoanele *2* și tijele lor *3*. În partea superioară tijele sînt prinse în traversa *4*, care este solidarizată cu capul rotativ *5* cu mandrinele *6*, fixat la rîndul său pe rulmenții de presiune *7*. De corpul capului rotativ sînt fixate două bucșe de bronz *9*, prin care trec tijele de ghidaj *8* legate de traversă și care au rolul de a elimina vibrațiile și de a da o soliditate mai mare construcției. Tijele sînt gradate în centimetri, astfel că se poate observa în tot momentul viteza mecanică de avansare.

Mecanismul de avansare este prevăzut cu o pompă de ulei *10*, care împinge uleiul din rezervorul *11* în conductele *12*. Pe conductă este fixată o supapă de siguranță *13* și o cană *14*, prevăzută cu trei căi. Uleiul trece fie prin cilindrii de avansare *15*, fie spre cilindrul *16* de deplasare pe orizontală a granicului. Presiunea uleiului din cilindri este reglată prin ventilul *17*. Pentru controlul presiunii, sistemul hidraulic este prevăzut cu manometrul *18*, iar pentru controlul apăsării pe talpă, sistemul are un indicator de greutate *19*. Prin distribuitorul *20* se face legătura circuitului hidraulic cu partea inferioară sau superioară a cilindrilor pe conductele *21* și *22*. Evacuarea uleiului din cilindri se face prin conducta de scurgere *23*.

Pentru deplasarea pe orizontală a granicului în scopul eliberării găurii de sondă, instalația este prevăzută cu un cilindru hidraulic cu piston așezat sub granic.

3.8.1. INSTALAȚII PENTRU FORAJ DE EXPLORARE FABRICATE ÎN ROMÂNIA

Instalațiile de foraj de explorare fabricate în România, sub denumirea de *instalații de foraj geologic*, se execută în următoarele tipuri:

— instalație de foraj SG-650 M;
— instalație de foraj SG-150;
— instalație de foraj FG-8;
— instalație de foraj FG-5;
— instalație de foraj FG-1,2 M;
— instalație de foraj FG-0,63 D.

Fabricarea acestor instalații se face de către uzinele constructoare de mașini Tîrgoviște, Giurgiu și Baia Mare.

3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M

După energia de acționare instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalația de foraj se compune din agregatul de foraj, grupul motor Diesel, grupul de pompare, instalația de noroi, mastul cu substructura, echipamentul de manevră (geamblac, macara, cîrlig, cap hidraulic) și baracă (fig. XI.112).

Agregatul de foraj conține o șaibă de antrenare prin curele trapezoidale, ambreiaj, cutie de viteze, troliu și cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și manuală. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prărinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic. Comenzile și apajatura sînt centralizate la un pupitru de comandă.

Grupul motor Diesel este dotat cu ambreiaj cu frictiune și cuplaj hidraulic.

Grupul de pompare este format dintr-o cutie de viteze, pompa de noroi și manifoldul de refulare.

Agregatul de foraj se sprijină pe o substructură metalică împreună cu mastul rabatabil. Operația de rabatere se execută cu ajutorul agregatului de foraj.

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II). Această variantă este asemănătoare variantei I, cu deosebirea că agregatul de foraj și grupul de pompare sînt antrenate separat prin motoare electrice (fig. XI.113).

Instalația de foraj geologic SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III). Instalația (fig. XI.114) se compune din:

— grupul de foraj alcătuit din agregatul de foraj al instalației SG-650 M antrenat de către un motor Diesel și montat pe două sănii de transport;

— grupul de pompare alcătuit din pompa 2PN-35, cutie de viteză, motor Diesel, montat pe sanie;

— mast în formă de trepied special amenajat pentru foraje înclinate.

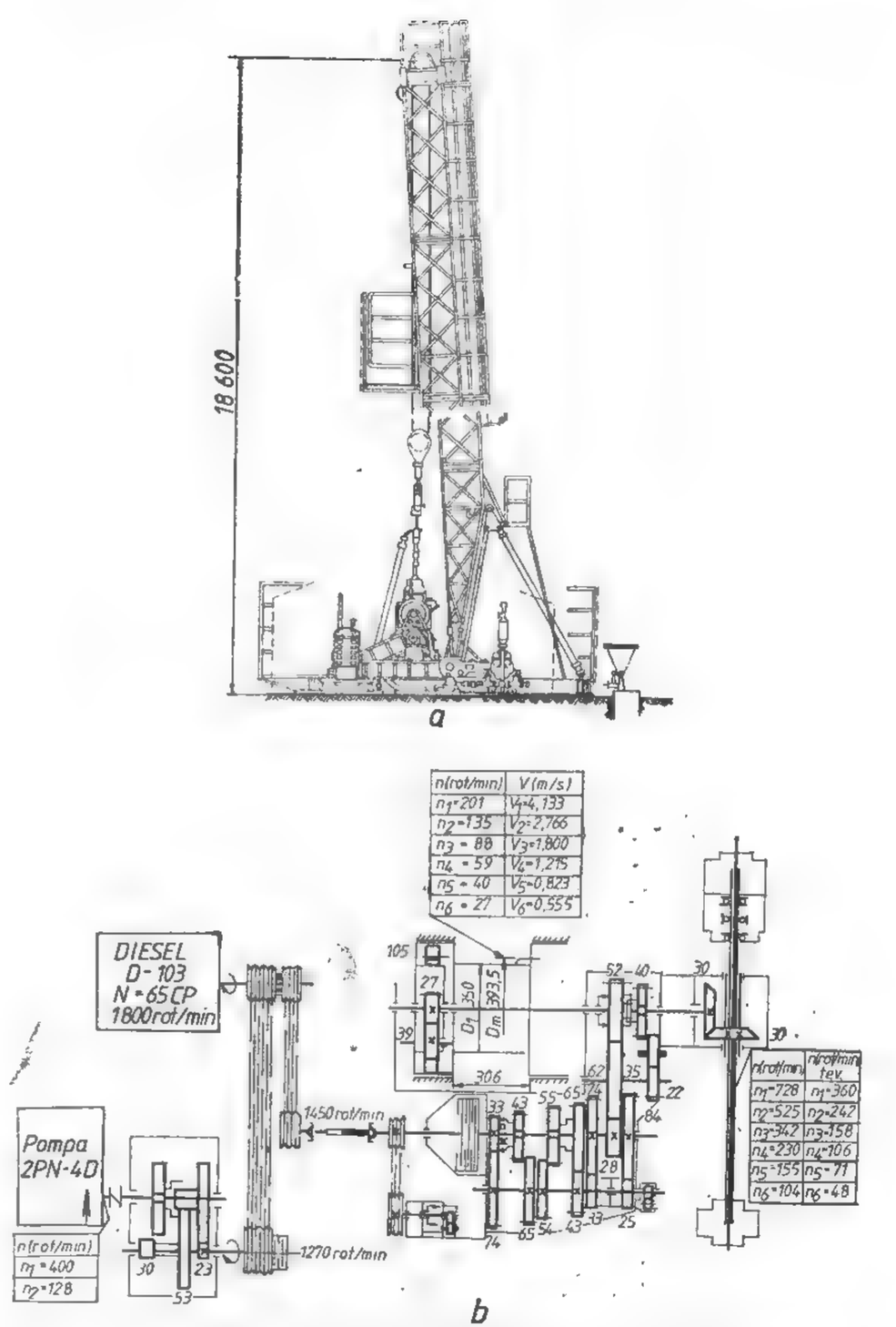


Fig. XI.112. Instalație SG-650 acționată cu motor Diesel (variantă I):
a — vedere de ansamblu; *b* — schema cinematică.

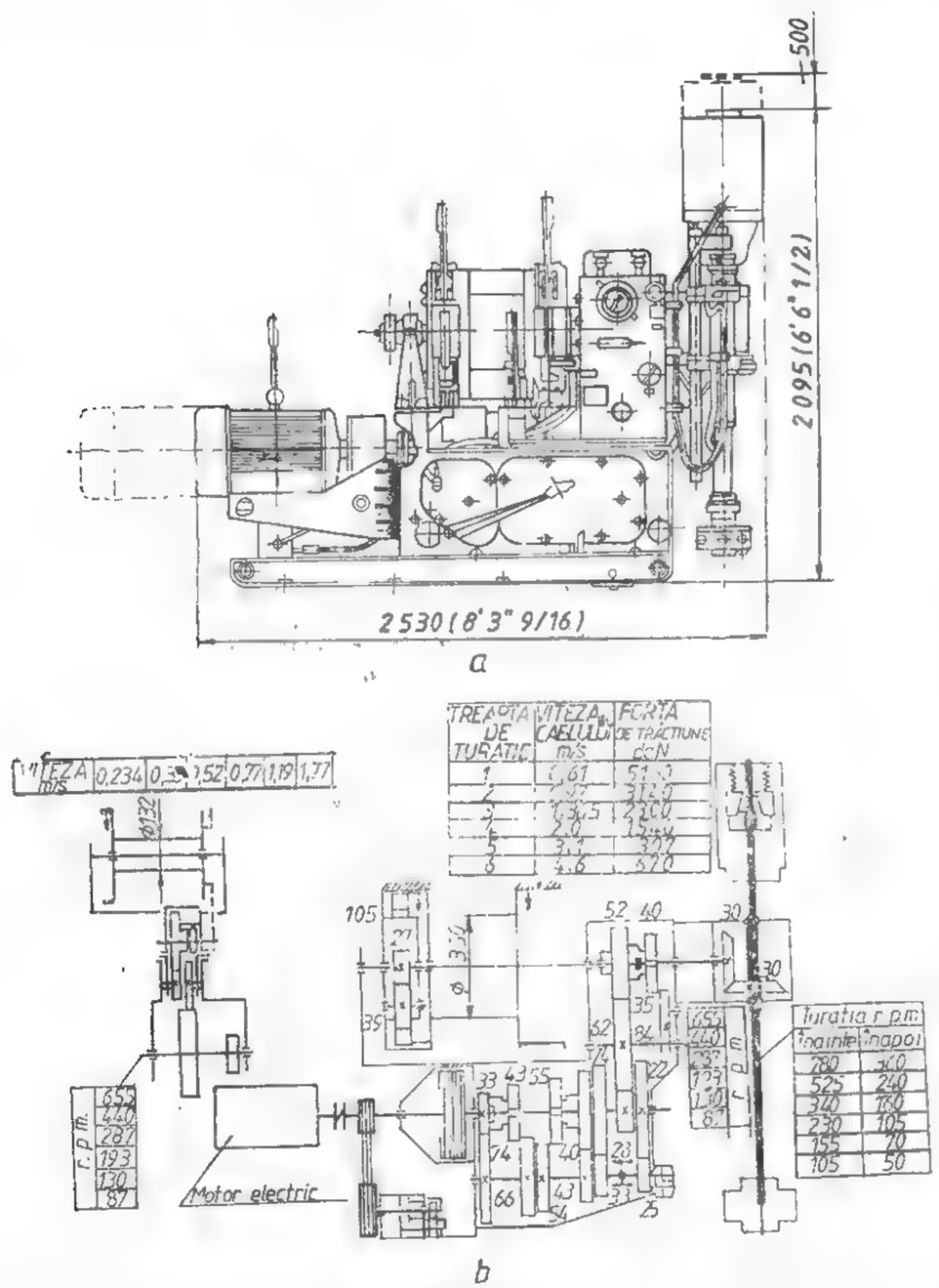


Fig. XI.113. Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II):

a — agregatul de foraj; *b* — schema cinematică.

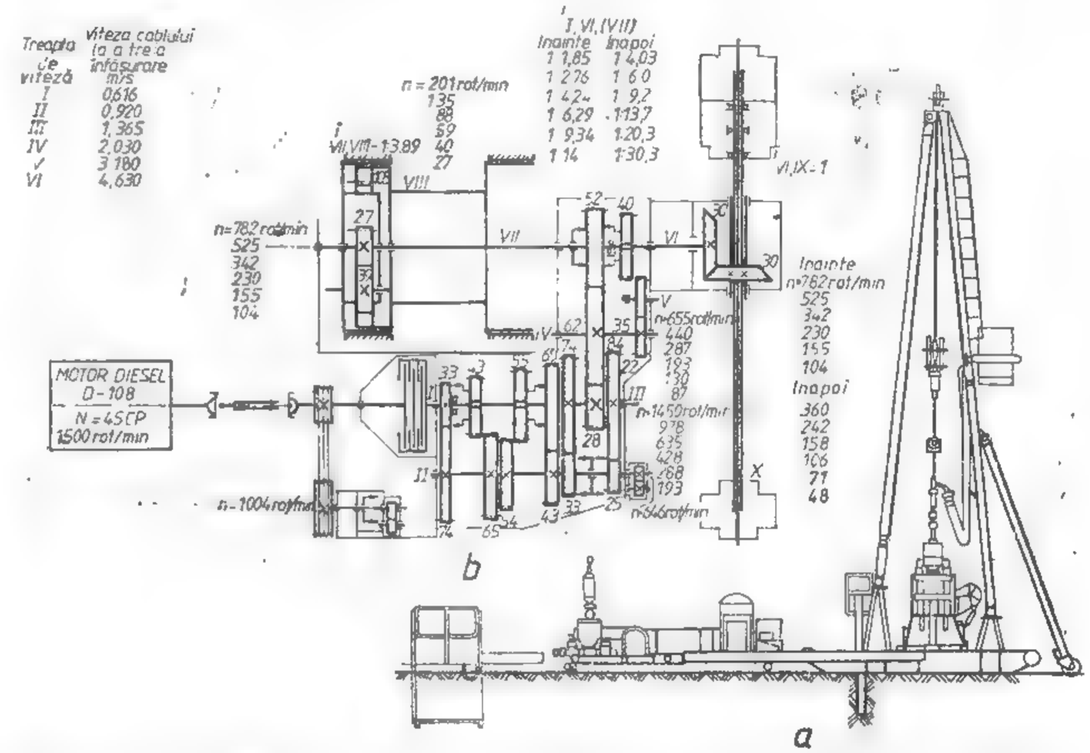


Fig. XI.114. Instalația de foraj SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III):

a — vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică.

Caracteristici tehnice

Variante	I	II	III
Adîncimea de foraj, cu prăjini:			
BW 53,97 mm; $q = 6{,}85$ kg/m		1 200 m	1 000 m
NW 66 mm; $q = 8{,}9$ kg/m		850 m	790 m
Diametrul găurii forate			
— maxim (inițial)		214 mm	214 mm
— minim (final)		59 mm	59 mm
Sarcina normală la cîrlig		12 500 daN	pe două fire 6 500 daN
Sarcina maximă la cîrlig		20 000 daN	10 000 daN
Cursa de retractare a agregatului de foraj		500 mm	500 mm
Puterea motorului de antrenare a agregatului		65 CP; 30 kW	65 CP
Puterea motorului de antrenare a pompei de noroi		65 CP; 30 kW	65 CP
Numărul treptelor de viteză la troliu		6 + 6 revers	6 + 6 revers

Variante	I II	III
Forța de tracțiune max. în cablu la toba troliului (cablu Ø 16 mm — 5/8 in)	5 000 daN	5 000 daN
Viteza cablului la toba troliului	0,55...4,13 m/s	0,55...4,13 m/s
Nr. treptelor de viteză la capul rotativ	6 + 6 revers	6 + 6 revers
Turația la capul rotativ	dr. 104...782 rot/min st. 48...360 rot/min	dr. 104...782 rot/min st. 48...360 rot/min
Forța max. de ridicare hidraulică	10 000 daN	10 000 daN
Forța max. de apăsare hidraulică	8 500 daN	8 500 daN
Cursa fusului principal	500 mm	500 mm
Diametrul de trecere prin fus	68 mm	68 mm
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°	0...360°
Momentul de strîngere la mandrine	360 daNm	360 daNm
Înălțimea geamblacului în poziție de lucru	18,6 m	10,15 m
Tipul pompei de noroi	2 PN—40	2 PN—40
Numărul habelor de noroi	4	4
Capacitatea unei habe	2 350 l	2 350 l
Denisipator cu două cicloane	Ø 100 mm	—
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast	90° la 75°	90°—45°
Masa totală a instalației, kg	17 000; 16 080	14 140
Masa agregatului de foraj, kg	2 475; 2 619	3 543
Masa grupului de pompare, kg	1 033; 1 380	2 565

3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă antrenată de la motorul moto (varianta I). Ansamblul format din agregatul de foraj acționat hidrostatic, circuit hidrostatic, transmisii, pompa de noroi, motor și echipamentul de manevră (geamblac, cablu de manevră, suvei și cap hidraulic) se montează pe un autovehicul utilitar TV12, cu două diferențiale (fig. XI.115).

Agregatul de foraj este retractabil și se compune din motor hidrostatic, multiplicator, cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de distribuție, troliu, cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și mandrină mecanică, circuit de ungere.

Comenzile și aparatura sînt centralizate la un pupitru de comandă.

Transmisia se compune din priză de putere flanșată pe cutia de viteze a autovehiculului, arbore cardanic și cutie de distribuție.

Cutia de distribuție transmite fluxul de putere la o pompă hidrostatică ce acționează hidrostatic motorul agregatului de foraj și la o roată de curea care antrenează, prin 3 curele trapezoidale, pompa de noroi 3PN-10.

Șasiul autovehiculului este special amenajat spre a permite montarea agregatului de foraj, a pompei de noroi și a rezervorului de ulei, a mastului și anexelor.

Mastul se rabate hidraulic, în timpul transportului se așază orizontal pe un suport prevăzut pe cabina auto.

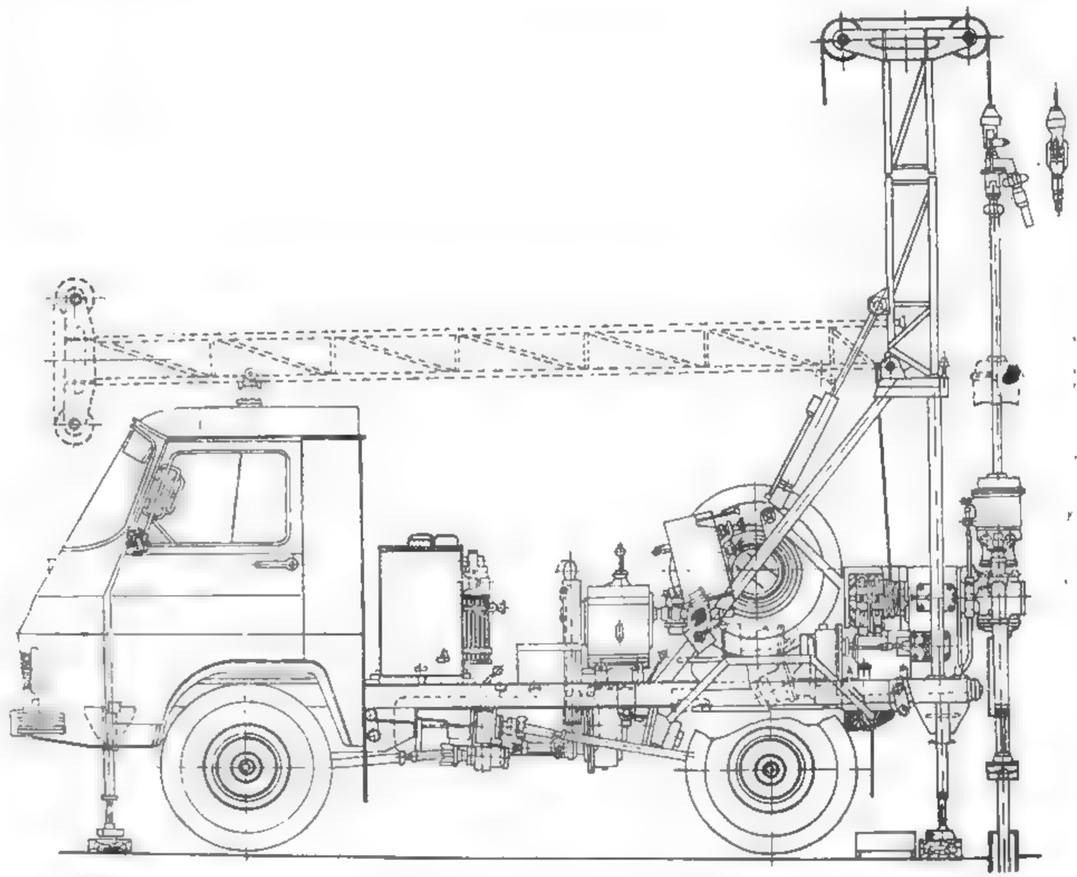


Fig. XI.115. Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă (varianta I).

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) cu mast, antrenată de motoare electrice (varianta II și IV). La această variantă agregatul de foraj — același ca la varianta I — este asamblat pe o sanie și antrenat de un motor electric.

Pompa de noroi, antrenată de un motor electric prin transmisii cu curele trapezoidale, constituie un grup electropompă montat deasupra habei de noroi.

De sania agregatului de foraj se prind suporții pe care este articulat mastul.

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) antrenată de motoare electrice, destinată lucrărilor în galerii subterane (varianta III). Această variantă este la fel cu varianta II, cu diferența că nu are mast. Geamblacul se fixează pe două grinzi încastrate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

Varianta	I	II	III	IV
Adîncimea de foraj, cu prăjini:				
— EW — 34,92 mm; $q = 4,54$ kg/m	250 m			
— AW — 44,45 mm; $q = 5,3$ kg/m	180 m			
Diametrul găurii forate				
— maxim (inițial)	100 mm			
— minim (final)	38 mm			
Sarcina normală la cîrlig	1 100 daN			
Cursa de retractare a agregatului de foraj	275 mm			
Puterea motorului de antrenare a agregatului	13 kW/3 000 rot/min		7,5 kW/1 500 rot/min	
Puterea motorului de antrenare a pompei	5,5 kW			
Numărul treptelor de viteză la troliu	3			
Forța de tracțiune maximă în cablu la toba troliului (cablu Ø 9 mm)	1 150 daN			
Viteza cablului la toba troliului	0,6...2,5m/s		0,3—1,25 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	6			
Turația la capul rotativ	240...1 437 rot/min		125—1 250 rot/min	
Forța maximă de ridicare hidraulică	3 000 daN			
Forța maximă de apăsare hidraulică	2 440 daN			
Cursa fusului principal	550 mm			
Diametrul de trecere prin fus	53 mm			
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°			
Momentul de strîngere la mandrine	33 daNm			
Înălțimea geamblacului în poziția de lucru	6,1m			
Tipul pompei de noroi	3 PN—10			
Numărul habelor de noroi	1			
Capacitatea unei habe	700 l			
Denisipator	Ø 70 mm			
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast	numai vertical			
	90° la 70°			
Masa totală a instalației	2 893 kg;		2 030 kg;	2451 kg
Masa grupului de foraj inclusiv mast	490 kg;	760 kg;	554 kg;	
Masa grupului de pompare	115 kg;		214 kg;	214 kg

3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8

Instalația de foraj geologic FG-8 se execută în următoarele variante:

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta termică staționară (varianta I). Instalația de foraj se compune din: grup de foraj, grup de pompare, instalație de noroi, mast cu substructură, echipament de manevră (geamblac, manșon conic, sanie, elevator, cap hidraulic) și baracă.

Grupul de foraj se compune din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o sanie (fig. XI.116).

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurei sondei — făcîndu-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, tobă de manevră și sistem de frînare, cîte două capete rotative, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul

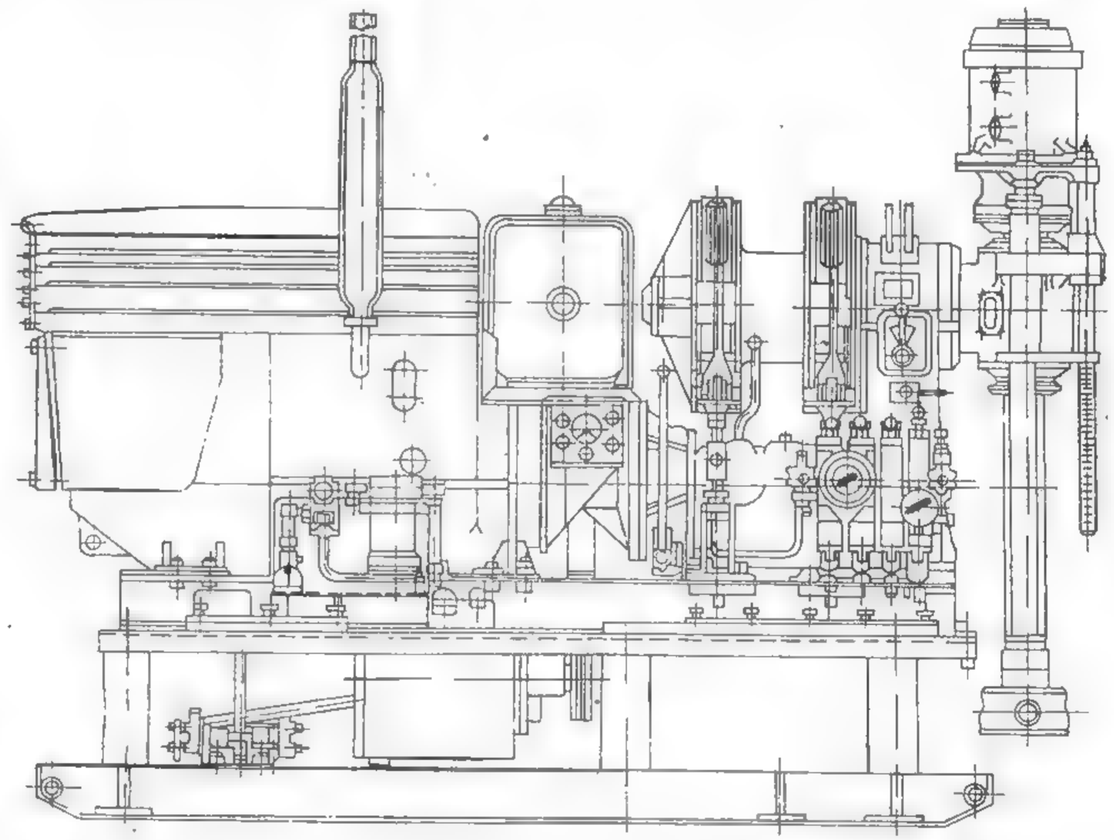


Fig. XI.116. Grupul de foraj al instalației de foraj FG-8, acționat cu motor termic.

interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și tobă carotieră introductibilă-opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic, cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o sanie și se compune dintr-un motor Diesel, ambreiaj, cutie de viteze și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta electrică staționară pe sanie (varianta II). Această variantă este identică cu varianta I, cu deosebirea că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Caracteristici tehnice

	I	II
Adîncimea convențională de foraj cu prăjini:		
50 RS — 50 mm		
$q = 6,7$ kg/m	500 m	
SzAW — 44,45 mm		
$q = 5,3$ kg/m	935 m	
SzBW — 53,97 mm		
$q = 6,85$ kg/m	800 m	
SzNW — 66,68 mm		
$q = 8,9$ kg/m	600 m	
BQ — 55,6 mm		
$q = 5,9$ kg/m	800 m	
NQ — 69,9 mm		
$q = 7,6$ kg/m	600 m	
Diametrul găurii forate:		
inițial	151 mm	
final		
— coroane cu diamante	59 mm	
— coroane cu carburi metalice	99 mm	
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire):		
— nominal	5 000 daN	
— maxim	8 000 daN	
Diametru/lungime cablu manevră	16 mm/50 m	
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului	55 CP/2 400 rot/min, 30 kW/1 460 rot/min	
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi	55 CP/2 400 rot/min; 45 kW/1 465 rot/min	
Cursa de retractare a agregatului de foraj	400 mm	
Numărul treptelor de viteză la troliu	5	
Vitezele de ridicare la cîrlig	0,39...2,62 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	10 + 2 rev.	
Turațiile la capul rotativ Ø 76:		
— gama încet	120; 210; 330; 550; 785 rot/min	
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min	
— revers	110; 220 rot/min	

	I	II
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/ min	
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/ min	
— revers	95; 190 rot/min	
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN	
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN	
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min	
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min	
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm	
Diametrul de trecere prin fusul rotativ	76; 92 mm	
Cursa fusului capului rotativ	650 mm	
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°	
Capacitatea în cablul tobei carotierei introductibile	500 daN	
Diam./lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/800 m	
Vitezele cablului	0,142...1,47 m/s	
Grup de pompare acționat independent cu motor	Diesel electric	
Debit teoretic	31—450 l/min	
Pompă de noroi tip	3 PN — 40	
Presiunea maximă	100 daN/cm²	
Numărul habelor de noroi	2	
Capacitatea unei habe	2 100 l	
Denisipator	Ø 70 mm	
Mast tip	Construcție metalică rabatabilă	
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0—45°	
Înălțimea sol — axa geamblacului	14,5 m;	14,5 m
Lungimea pasului de manevră	12,5 m;	12,5 m
Masa instalației cu agregat de foraj și tobă carotieră introductibilă	8 970 kg;	8 360 kg

3.8.1.4. Instalația de foraj FG-5

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate, instalația se execută în patru variante:

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică, transportabilă (pe remorcă) antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalație de foraj (fig. XI.117) se compune din grup de foraj, grup de pompare, instalația de noroi, mast cu substructură și echipament de manevră.

Grupul de foraj este compus din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o remorcă monoax.

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurii sondei făcîndu-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, tobă de manevră și sistem de frînare.

cîte două capete rotative, mandrine, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și tobă carotieră introductibilă-opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit

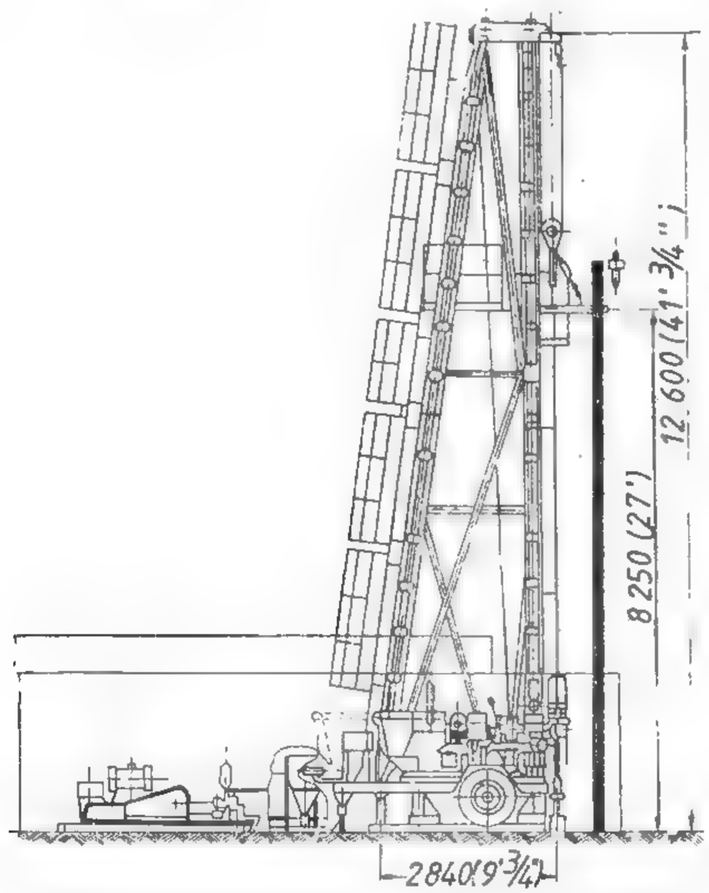


Fig. XI.117. Instalația de foraj FG-5 transportabilă (pe remocră), varianta I.

variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o remorcă monoax și se compune dintr-un motor Diesel și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică pe sanie (varianta II). Instalația are componența primei variante, avînd agregatul de foraj și grupul de pompare staționare, montate pe sanie.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie (varianta III). Această variantă este identică cu varianta II, cu deosebire că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Instalație de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie în montaj pentru subteran (varianta IV). Această variantă este identică cu varianta III, cu deosebire că nu are mast. Geamblacul este fixat pe două grinzi încastrate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

	I	II	III	IV
Adîncimea de foraj cu prăjini:				
50 RS — 50 mm				
$q = 6{,}7$ kg/m	300 m			
SzaW — 44,45 mm				
$q = 5{,}3$ kg/m	600 m			
SzBW — 53,97 mm				
$q = 6{,}85$ kg/m	500 m			
SzNW — 66,68 mm				
$q = 8{,}9$ kg/m	400 m			
BQ — 55,6 mm				
$q = 5{,}9$ kg/m	500 m			
NQ — 69,9 mm				
$q = 7{,}6$ kg/m	400 m			
Diametrul găurii forate:				
inițial	151 mm			
final				
— coroane cu diamante	59 mm			
— coroane cu carburi metalice	99 mm			
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire)				
— nominal	3 200 daN			
— maxim	5 000 daN			
Diametru/lungime cablu manevră	16 mm/50 m			
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului	45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min			
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi	45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min			
Cursa de retractare a agregatului de foraj	400 mm			
Numărul treptelor de viteză la troliu	5			
Vitezele de ridicare la cîrlig	0,39...2,62 m/s			
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	10 + 2 rev.			
Turațiile la capul rotativ				
— Ø 76				
— gama încet	120; 210; 330; 550; 785 rot/min			

	I	II	III	IV
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min			
— revers Ø 92	110; 220 rot/min			
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/min			
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/min			
— revers	95; 190 rot/min			
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN			
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN			
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min			
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min			
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm			
Diametrul de trecere prin fus	76; 92 mm			
Cursa fusului capului rotativ	650 mm			
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°			
Capacitatea în cablul tobei carotierei introductibile	500 daN			
Diam/lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/600 m			
Vitezele cablului	0,142... 1,47 m/s			
Grup de pompare acționat cu motor	Diesel; Diesel; electric; electric			
Debit teoretic	26—317 l/min			
Pompă de noroi	3 PN — 20			
Presiunea maximă	63 daN/cm²			
Numărul habelor de noroi	2			
Capacitatea unei habe	2 100 l			
Denisipator	Ø 70 mm			
Mast tip	construcție metalică rabatabilă			
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0—45°			
Înălțimea sol-axa geamblacului	14,5 m; 14,5 m; 14,5 m; 6—14,5 m			
Lungimea pasului de manevră	12,5 m; 12,5 m: 12,5 m		—	
Masa instalației de foraj cu toba carotieră introductibilă	9 040 kg; 8 040 kg; 7 260 kg: 4 740 kg			

3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M

Instalația de foraj FG-1,2 M (fig. XI.118) este destinată cercetărilor geologice prin foraj și carotaj.

Se mai poate utiliza și pentru cercetări și amenajări hidrotehnice, consolidări de fundații, pozare de cabluri pe sub drumuri (terasamente) etc. Cu o dotare specială poate fi utilizată și la săparea de găuri de degazare și control.

Instalația este cu transmisie hidrostatică. Se poate executa montată pe roți de vagonet de mină sau staționară pe sănii. Cuprinde: grupul de foraj, grupul de acționare, grupul motopompă și instalație de noroi.

Grupul de foraj are o sanie cărucior pe care se montează agregatul de foraj format dintr-o ramă (cadru de avans). Pe cadrul de avans se montează broasca și centratorul de prăjini. Pe un cărucior cu roți de mină (sau pe sanie) se montează motorul de acționare.

Grupul de pompare are un cărucior cu roți de mină pe care se montează motorul de acționare, pompa de noroi, furtunuri, robinți etc., putînd fi cu pompă 3PN-10 sau 2PN-10.

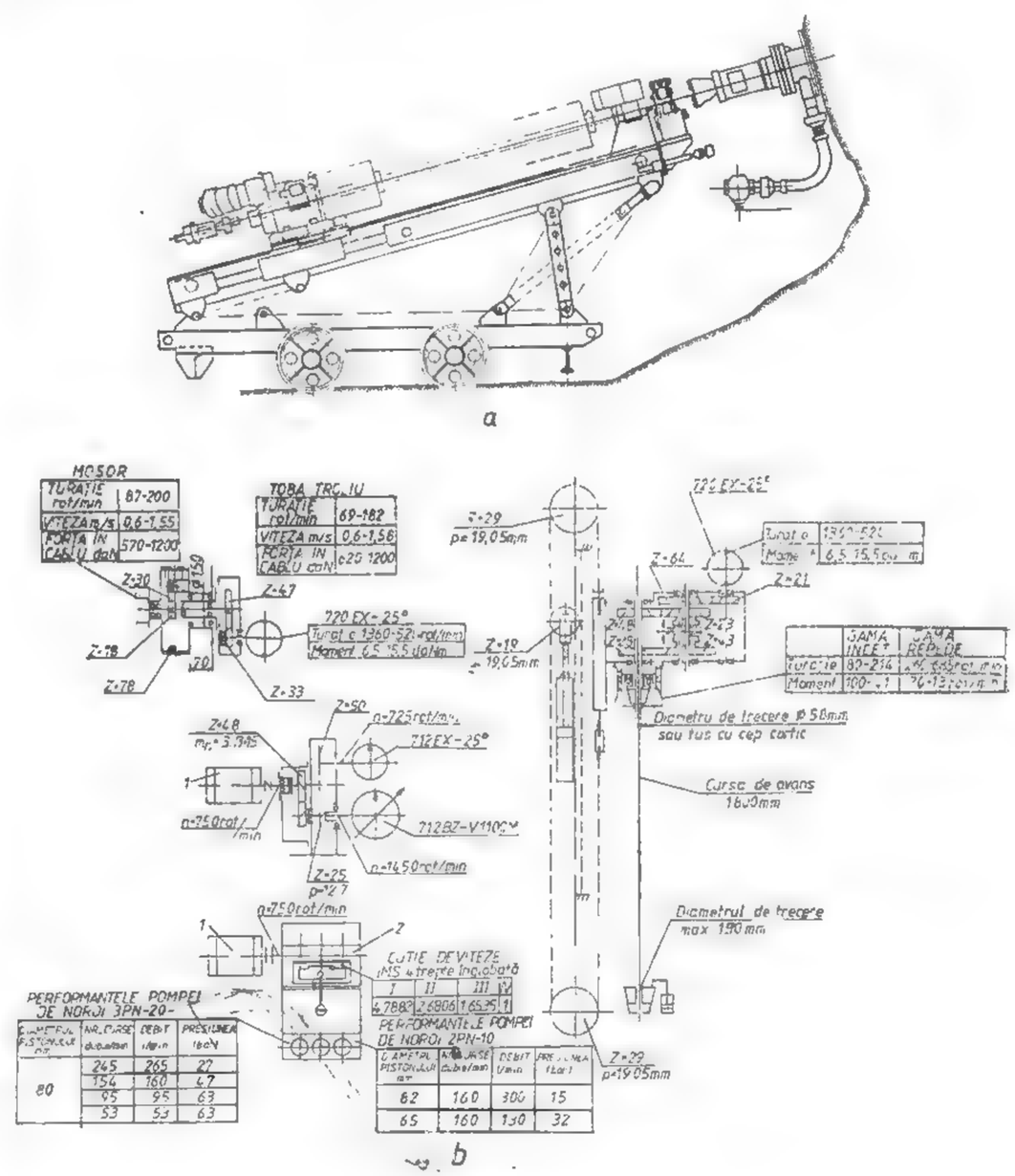


Fig. XI.118. Instalația de foraj FG-1,2 M:
a — vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică (*1* — motor pneumatic sau electric; *2* — pompă de noroi).

Caracteristici tehnice

Adîncimea nominală de foraj:	
— cu coroane cu diamante și prăjini AW Ø 44,5 mm; $q = 5,3$ kg/m	200 m
— cu sape și prăjini BW Ø 54 mm; $q = 6,85$ kg/m	150 m
Diametrul găurii forate:	
— maxim (inițial)	200 mm
— final cu diamante	48 mm
— final cu sape (roci semitari)	93 mm
Capacitatea de manevră:	
— extragere	0...2,4 t
— introducere	0...2,3 t
— apăsare	0...2,3 t
Viteza de manevră:	
— extragere	0...0,44 m/s
— introducere	0...0,33 m/s
Cursa de manevră	1 800 mm
Cap rotativ — turații/moment (diam. de trecere Ø 58 mm): — treapta încet	0...80...214 rot/min 0...100 daN·m
— treapta repede	0...260...685 rot/min 0...30 daN·m
Unghiul de foraj posibil	0...360°
Gabarite $L \times B \times H$:	
— grup foraj	3100 × 400 × 925 m
— grup acționare	1800 × 600 × 900 m
— grup preparare	1100 × 600 × 680 m
Masa netă:	
— acționare pneumatică:	
— complet normal	2010 kg
— complet opțional	3820 kg
— acționare electrică:	
— complet normal	1630 kg
— complet opțional	3780 kg
Cărucior de mină ecartament/ampatament	630/1000 m 630/800 m

3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D

Instalația de foraj FG-0,63 D (fig. XI.119) este destinată cercetărilor geologice pentru substanțe utile solide sau fluide, dar și pentru lucrări geotehnice, consolidări etc.

Instalația se execută în două variante, după modul de transport, pe roți de vagonet sau pe sanie.

Acționarea se face cu motoare pneumatice cu pistoane radiale sau electric.

Instalația este cu transmisie hidrostatică și cuprinde: agregatul de foraj, grupul de pompare noroi, instalația de prevenire a erupțiilor și instalația de noroi.

Agregatul de foraj este format din două unități montate pe o sanie: cadrul de avans și unitatea de putere.

Grupul de avans are prevăzute la extremități șuruburi cu plăci de reazem pe sol și se poate monta și independent de unitatea de putere.

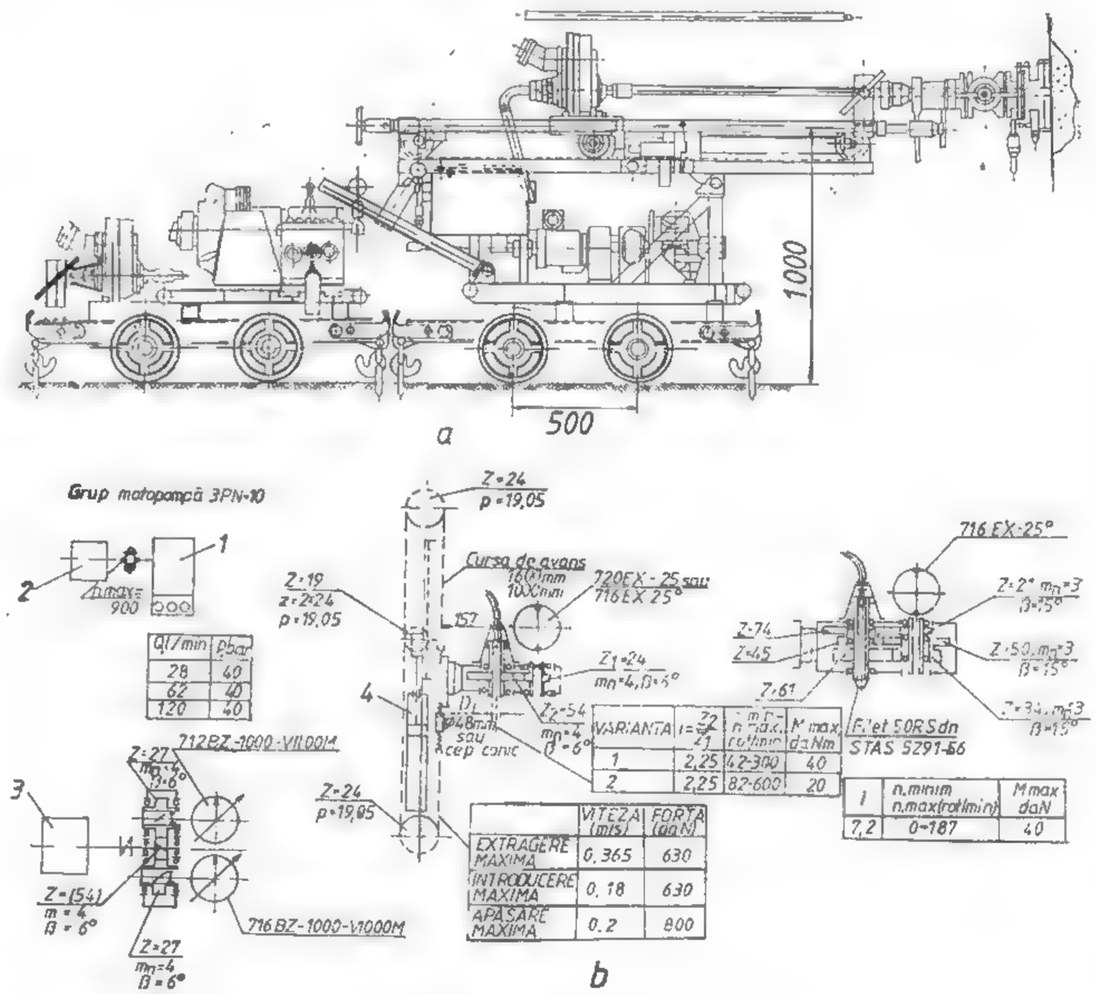


Fig. XI.119. Instalația de foraj FG-0,63 D:

a — vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică (*1* — pompă de noroi 3 PN—10; *2* — motor pneumatic cu pistoane radiale; *3* — motor pneumatic sau electric; *4* — cilindru hidraulic cursa 800 mm, 500 mm).

Grupul de pompare este format din motorul de antrenare, cuplajul periflex și pompa tip 3PN-10, totul montat pe o sanie.

Instalația de prevenire a erupțiilor este formată în principal de un prevenitor rotativ și unul orizontal.

Caracteristici tehnice

	I (pe sanie)	II (pe vagonet)
Adîncimea de foraj cu prăjini		
EW — 34,9 mm; $q = 4,5$ kg/m		110 m
AW — 44,5 mm; $q = 5,3$ kg/m		100 m
Diametrul găurii forate:		
— maxim (inițial)		120 mm
— minim (final)		48 mm
Capacitatea de manevră:		
— extragere		0...0,5 t
— introducere		0...0,45 t
Viteza de manevră:		
— extragere		0,4 m/s
— introducere		0,3 m/s
Cursa de avans		1 800 mm
Cap rotativ: turație	0...600	0...200 rot/min
moment	0...12	0...40 daNm
Unghiul de foraj		0—360°
Pompa de noroi		tip 3PN-10

3.8.2. ALTE TIPURI DE INSTALAȚII DE FORAJ

3.8.2.1. Instalația de foraj SBA-500

Instalația este folosită pentru forarea rotativă a găurilor de sondă verticale și înclinate, cu adîncimea pînă la 500 m, cu diametrul final de 59 mm.

Prin gama largă de viteze de rotație ale garniturii de foraj (120 pînă la 1015 rot/min), cu această instalație se poate fora în condiții diferite atît cu aliaje dure cît și cu coroane cu diamante.

Pe de altă parte, prezența indicatorului de presiune și a kilowattmetrului permite controlul principalilor parametri ai procesului de foraj și alegerea vitezelor la operațiile de manevră.

În funcție de felul acționării și turația axului de rotație, instalația de foraj SBA-500 se livrează în patru variante:

— SBA-500 GE acționată cu motor electric;

— SBA-500 GD — identică din punct de vedere constructiv cu SBA-500 GE însă acționată cu motor Diesel;

— SBA-500 E cu axul de acționare prevăzut cu două mandrine hidraulice și instalație hidraulică care asigură prinderea automată a garniturii de prăjini, fără oprirea rotației sau deconectarea instalației de la motorul electric;

— SBA-500 D, analoagă cu instalația SBA-500 E, însă acționată cu motor Diesel (fig. XI.120).

Caracteristici tehnice:

Adîncimea de foraj cu prăjini de Ø 50 mm:	
— la diametrul final al găurii de sondă Ø 93 mm	300 m
— la diametrul final al găurii de sondă Ø 59 mm	500 m
Diametrul inițial de foraj	151 mm

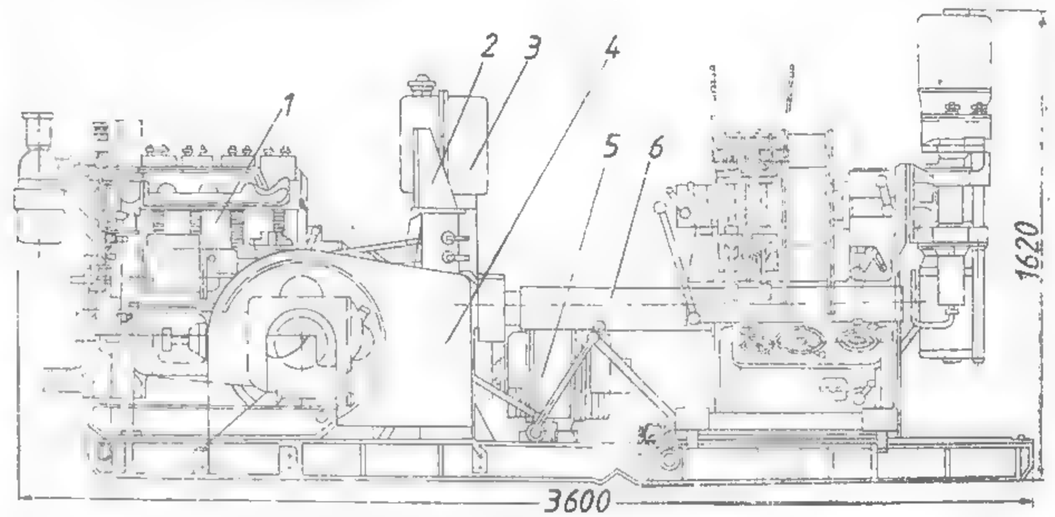


Fig. XI.120. Ansamblul instalației SBA-500 D:

1 — motor D37—E; *2* — tablou de comandă și control; *3* — rezervor de combustibil; *4* — apărătoarea pompei; *5* — generator ES—52; *6* — apărătoarea axului cardanic.

Diametrul de trecere al axului vertical	52 mm
Unghiul de foraj față de verticală	90°—45°
Diametrul prăjinilor de foraj	30—42 mm
Avansarea garniturii de foraj	hidraulică
Cursa axului universal	400 mm
Turația axului	120; 195; 280; 430; 700; 1015 rot/min
Viteza maximă de coborîre a garniturii de prăjini	peste 1,1 m/min
Viteza maximă de ridicare a garniturii de prăjini	peste 0,83 m/min
Acționarea instalației	cu motor electric
Puterea	22 kW; 40 CP
Dimensiunile instalației acționată cu motor electric:	
— lungimea	1670 mm
— lățimea	1 130 mm
— înălțimea	1 620 mm
Masa	1 350 kg

Instalația de foraj SBA-500 este prevăzută cu panou de comandă electrică cu aparatură electrică de pornire și de protecție.

3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM

Instalația, destinată pentru forajul sondelor verticale cu masă rotari și circulație directă, este compusă din blocul de foraj, montat pe șasiul autocamionului MAZ cu subansamble auxiliare și utilaje anexă (fig. XI.121). Acționarea mecanismelor se realizează de la o sursă autonomă.

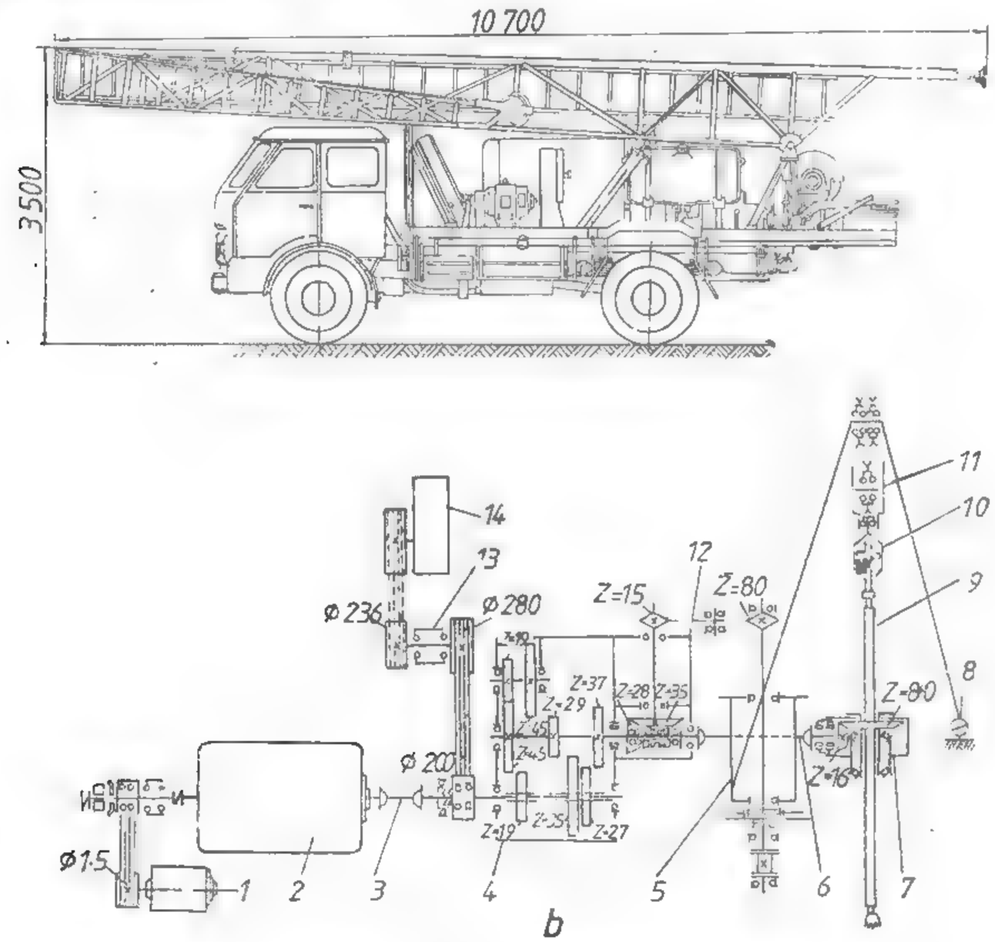


Fig. XI.121. Instalația de foraj autotransportabilă URB-3AM:

a — vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică: *1* — generator; *2* — motor de acționare; *3* — ax cardanic; *4* — cutie de transmisie; *5* — troliu; *6* — ax cardanic pentru acționarea mesei rotative; *7* — masă rotativă; *8* — indicator de masă; *9* — prăjină pătrată; *10* — vîrtej; *11* — bloc de ridicare; *12* — transmisie cu lanț; *13* — aparat de control; *14* — pompă de noroi.

Caracteristici tehnice:

Adîncimea de foraj (recomandată)	
— cu prăjini Ø 60,3 mm	500 m
— cu prăjini Ø 73 mm	300 m

Diametrul de foraj (recomandat):	
— de începere	243 mm
— final	76 mm
Modul de acționare	motor D 54; 54 CP 1300 rot/min
Troliul	funcțion. cu 2 mufe cu 2 discuri, acționat cu lanț, frînă cu o bandă și tamburi ajutători
Mastul	rabatabil cu front deschis
Înălțime	16 m
Acționarea	transmisie cardanică
Orificiul de trecere	250 mm
Turația mesei: direct	110; 190; 314 rot/min
invers	46 rot/min
Pompa de noroi	tip 11 GRT
Gabaritele blocului de foraj (poziție de transport):	
— lungime	10 700 mm
— lățime	2 800 mm
— înălțime	3 500 mm

Construcție și funcționare. Pentru acționarea mecanismelor, puterea se transmite de la motorul *2* (fig. XI.121, *b*) prin intermediul unui ax cardanic *3*, la cutia de transmisie *4*, care servește pentru acționarea principalelor mecanisme: troliu, masă rotativă și pompă de noroi.

Troliul *5* este acționat cu ajutorul lanțului *12* și a steluțelor $Z = 15$ și $Z = 80$ de la axul cutiei de transmisie. Rotația este transmisă la masa rotativă *7* de la axul principal al cutiei de transmisie cu ajutorul mufei danturate și a axului cardanic *6*; la pompa de noroi *14* rotația se transmite de la axul principal al cutiei de distribuție prin intermediul curelelor trapezoidale.

3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM

Instalația de foraj mobilă AVB-TM (fig. XI.122) este destinată pentru forajul sondelor de explorare și exploatare pînă la adîncimea de 100 m, cu prăjini de 60,3 mm. Forajul se efectuează rotativ, cu spălare cu noroi sau apă.

Toate mecanismele sînt montate pe tractorul cu șenile pentru terenuri accidentate.

Instalația AVB-TM este compusă din: cutie de viteză, reductor, masă rotativă, troliu, pompă de noroi, cap hidraulic cu dispozitiv de fixare-culisare, mast, troliu manual, mecanisme de comandă ale instalației, transmisia acționării malaxorului de noroi.

Acționarea instalației se realizează de la motorul tractorului, printr-o cutie de viteze cu 4 trepte, fixată pe puntea din spatele acestuia. Cutia de viteze cu ajutorul transmisiei cu lanț comunică cu reductorul.

Reductorul este mecanismul de distribuție pentru acționarea mesei rotative, troliului și a pompei de noroi. Cuplarea acestor mecanisme se face cu ajutorul unor mufe de cuplare și a unui pinion mobil. La capătul reductorului este fixată masa rotativă.

Principalele caracteristici tehnice ale instalației:

Adîncimea de lucru (cu prăjini Ø 50)		100 m
Diametrul de foraj:	inițial	112 mm
	final	93 mm (cu care s-au atins în mod practic adîncimi pînă la 250 m)

Agregatul de foraj și pompa sînt antrenate de către motorul tractorului (100 CP la o turație de 1 050 rot/min)

Sarcina maximă în cîrlig	1 250 daN
Numărul treptelor de viteză la masă:	$n_1 = 44$ rot/min; $n_2 = 91$ rot/min; $n_3 = 166$ rot/min; $n_4 = 210$ rot/min
Prăjină de antrenare hexagonală	Ø 2 $^7/_8$ in.

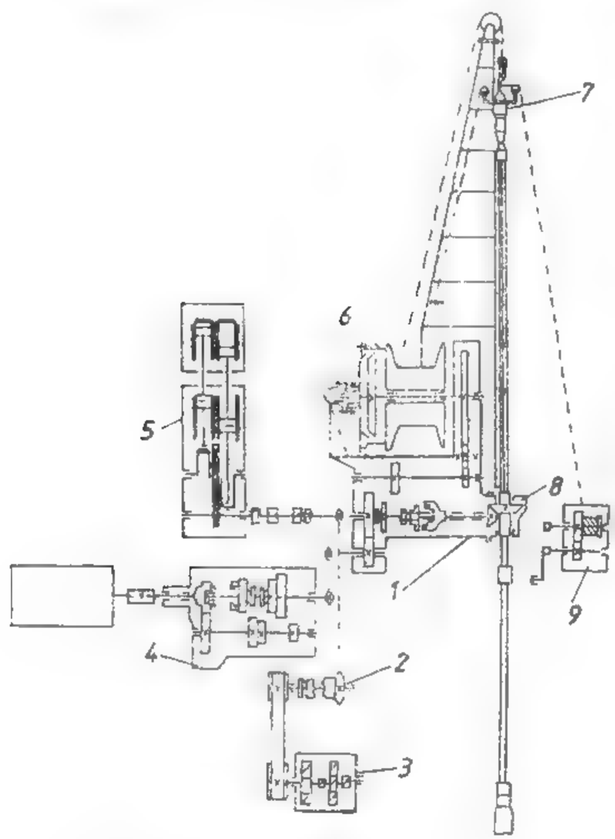


Fig. XI.122. Schema cinematică a instalației de foraj AVB-TM;

1 — reductor; *2* — dispozitiv de acționare a malaxorului de noroi; *3* — malaxor de noroi; *4* — cutie de viteză; *5* — pompă de noroi 250/50 A; *6* — troliu mecanic; *7* — cap hidraulic de presiune; *8* — masă rotativă; *9* — troliu manual.

Sistemul de avansare	mecanic
Înălțimea mastului	9 m
Diametrul cablului de foraj	13 mm
Pompa de noroi tip AVB-TM	200 l/min
cu o singură treaptă de viteză, debit	(0,0033 m³/s).

3.8.2.4. Instalația de foraj BSK

Sondezele din această grupă sînt instalații ușoare cu care se execută foraje pînă la 150 m, destinate cercetării geologice sau studiilor geotehnice.

Din punct de vedere constructiv se caracterizează prin lipsa tobei și a stîlpului (mastului). Extragerea și introducerea garniturii de săpare în această formă constructivă se execută cu ajutorul cilindrilor hidraulici de avansare.

Viteza de extragere este de 0,15—0,17 m/s. Din grupa instalațiilor ușoare BSK face parte sondeza BSK-4, al cărui mecanism de avansare constă dintr-un singur cilindru hidraulic, sondeza BSK-2, sondeza BSK-3 și BSK-2M-1-100.

Caracteristicile tehnice ale instalației BSK-2M-1-100 sînt:

Adîncimea de foraj	100 m
Diametrul maxim de începere	93 mm
Diametrul final cu diamante	36 mm
Diametrul prăjinilor de foraj	42 și 33,5 mm
Electromotor pentru acționare	7,5 kW
Numărul treptelor de viteză	2
Turațiile capului rotativ	300 și 600 rot/min
Debitul pompei	3,5 l/min
Masa agregatului	450 kg

3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200

Sub aspectul adîncimilor de foraj, sondeza ZIF-1 200 face tranziția între forajul de adîncime medie și forajul de mare adîncime.

Prin construcția sa, sondeza ZIF-1 200 prezintă aceleași avantaje în comparație cu alte sondeze, în ceea ce privește posibilitatea realizării unui foraj rapid, reglarea precisă a presiunii pe talpă, rapiditatea în execuția manevrelor etc.

Părțile componente ale instalației sînt: granicul de foraj *2* cu motorul electric *3*; pompa de noroi cu motorul electric al acesteia *4* (fig. XI.123).

Granicul de foraj este fixat pe același postament *1* cu motorul electric și așezat pe fundație de beton. Pompa de noroi cu electromotorul său se așază pe fundament separat.

Granicul de foraj constă din: rama cu accesoriile respective, postamentul, cilindrii pentru deplasarea granicului, rezervorul de ulei, cutia de viteze, dispozitivul hidraulic de dirijare, troliul, frîna de coborîre, frîna de ridicare, universalul, mandrina inferioară, mandrina superioară, pompa hidraulică de ulei, conductele pentru ulei, indicatorul de greutate pe talpă, instalația electrică și pompa de ulei manuală.

Modul de funcționare a sondezei. Mișcarea de la electromotorul de acționare a sondezei ZIF-1 200-A se transmite cutiei de viteze prin intermediul ambreiajului. Cu ajutorul cutiei de viteze mișcarea este transmisă mai departe la axul tobei, prin cele patru viteze.

Presiunea pe talpă se realizează prin sistemul hidraulic al agregatului. Din rezervorul de ulei, pompa refulează uleiul la dispozitivul de dirijare hidraulic și de aici trece la cilindrii dispozitivului de avansare.

Apăsarea necesară pe talpă se obține prin reglarea presiunii de ulei în conducta principală de refulare cu ajutorul dispozitivului de dirijare. Urmărirea apăsării pe talpă se face cu ajutorul indicatorului de greutate.

Punerea în funcțiune a sondezei ZIF-1 200-A și asigurarea funcționării în timpul forajului se face prin intermediul manetelor acționate de sondor.

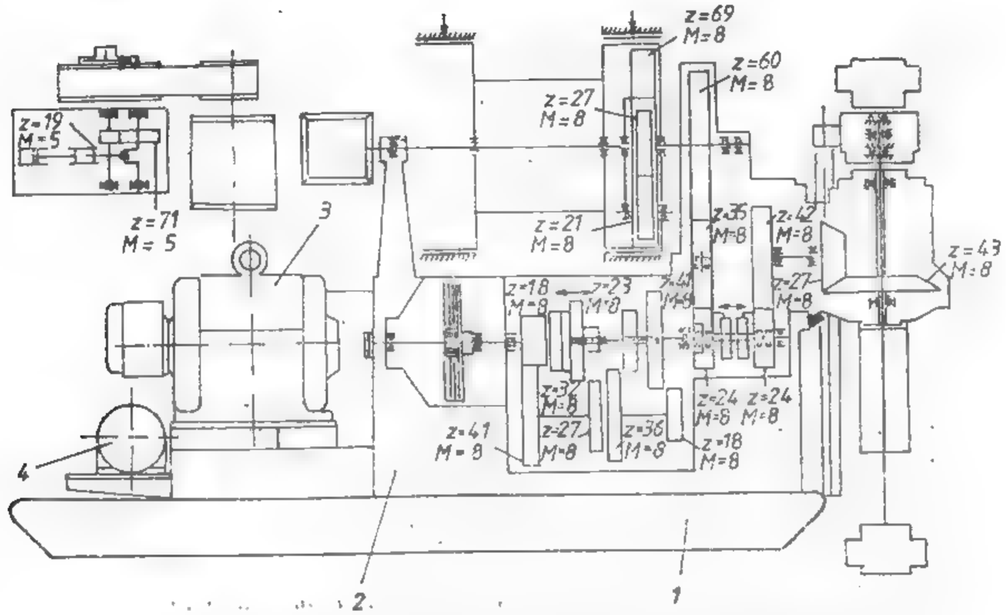


Fig. XI.123. Schema cinematică a instalației de foraj ZIF-1200 A.

3.8.2.6. Instalația de foraj GP-1 pentru subteran

Cu ajutorul ei se pot fora găuri de sondă sub orice unghi de înclinare, pînă la adîncimea de 100 m.

Sondeza este acționată de un motor electric de 4,5 kW, ce se alimentează de la rețeaua electrică subterană. Manevrarea sondezei se face hidraulic.

Granicul de foraj constă din: postamentul inferior, postamentrul superior, carcasa dispozitivului de rotire, universalul, cutia de viteze, postamentul motorului electric, toba pentru extragerea garniturii de foraj.

Schema cinematică și modul de funcționare sînt redate în fig. XI.124.

3.8.2.7. Instalația de foraj DIAMEC-250

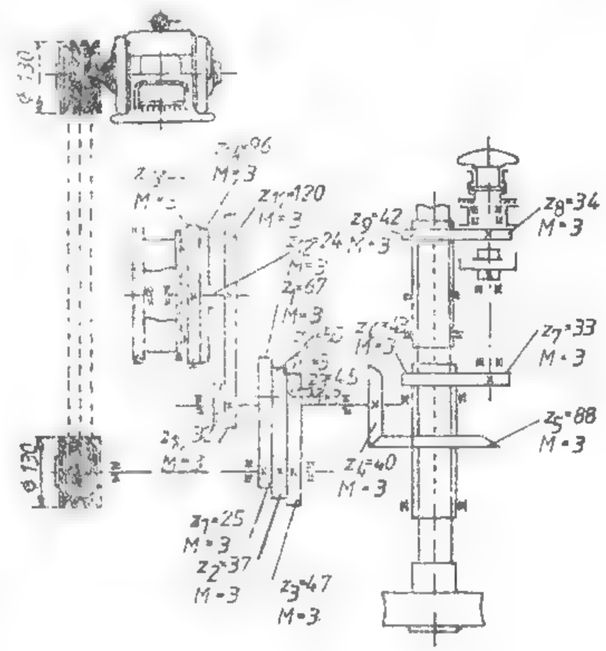
Sondeza (fig. XI.125), de construcție suedeză, este destinată pentru executarea lucrărilor geologice în subteran, putînd fora găuri de sondă înclinate sub orice unghi pînă la adîncimea de 250 m și cu un diametru final de 36 mm, cu coroane cu diamante.

Instalația are în componența sa următoarele părți:

— dispozitivul de avansare construit în două dimensiuni: de 850 mm, utilizat pentru forarea găurilor verticale în sus și în jos și de 1 600 mm pentru forarea găurilor orizontale;

— dispozitivul de rotire, prevăzut cu o țeavă de ghidaj cu diametrul interior de 58 mm, pentru folosirea prăjinilor cu diametrul pînă la 66 mm. Este acționat cu un motor hidraulic care pune în mișcare țeava de ghidaj printr-o pereche de roți dințate;

Fig. XI.124. Schema cinematică a instalației de foraj GP-1



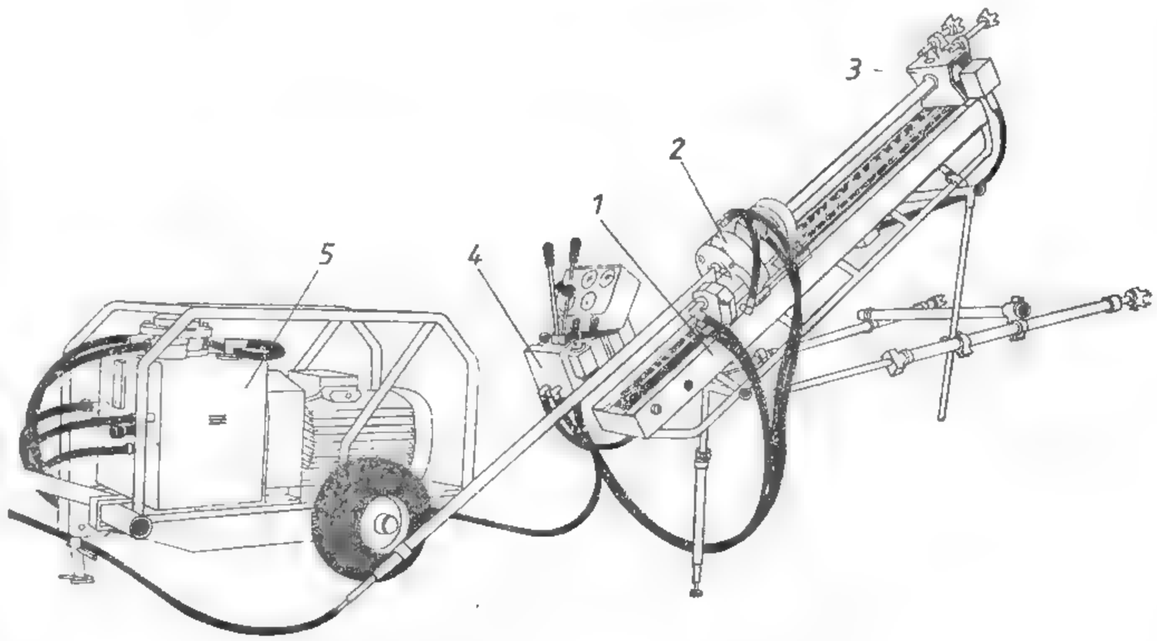


Fig. XI.125. Instalația de foraj Diamec 250:

1 — dispozitiv de avansare; 2 — dispozitiv de rotire; 3 — dispozitiv de prindere a prăjinilor; 4 — panou de comandă; 5 — grup de forță.

— echipamentul de prindere a prăjinii, amplasat la capătul frontal al dispozitivului de avans;

— panoul de comandă cu manetele de acționare.

Instalația este acționată de un motor electric sau un motor cu aer comprimat de 16 CP (11,7 kW).

Agregatul de foraj are masa de circa 300 kg.

3.8.2.8. Instalația de foraj Longyer 34

Este de construcție americană, fiind destinată forajului de explorare. Datorită gabaritului său redus, instalația poate fi folosită și în subteran.

Acționarea se face fie de la un motor termic de 11,5 CP (7,7 kW), fie de la un motor pneumatic de 12 CP. Pompa de noroi are un debit de maximum 150 l/min.

Instalația este prevăzută cu o tobă cu angrenaj planetar. Manevrarea carotierei introductibile se face cu o tobă solidarizată de granic.

3.9. INSTALAȚII DE SUPRAFAȚĂ ȘI ANEXE

Instalațiile de suprafață în foraj sînt destinate pentru protecția utilajului și a personalului, precum și pentru susținerea și manevrarea garniturii de foraj.

Pentru protecția utilajului și a personalului de intemperiile atmosferice, se construiește o *baracă* ce adăpostește întreg agregatul de foraj, iar pentru susținerea și manevrarea garniturii se instalează deasupra găurii de sondă o construcție specifică numită *turlă*, în cazul sondelor de adîncime mare, *trepied* sau *mast* în cazul sondelor de adîncime mai mică.

În afară de turlă și baraca agregatului de foraj, în imediata apropiere a instalației se sapă *batalele pentru noroi* și se aranjează *sistemul de jgheaburi* pentru circulația noroiului.

Pentru alimentarea cu apă se instalează conductele respective și se amenajează drumul pentru transportul diferitelor materiale la sondă.

Construcția diferitelor tipuri de turle și barăci depinde de natura lucrărilor de foraj și de sezonul în care se lucrează.

Dimensionarea turlei și a barăcii trebuie astfel făcută încît să asigure securitatea lucrărilor și instalarea regulamentară a utilajului de foraj.

Pentru adîncimi mici sînt tipizate instalații de foraj în formă de trepied cu înălțimea de 9 m, cu suprafața (trepied + baracă) de 4,5 × 9 m sau instalații de 12 m, 18 și 22 m înălțime cu turlă de tip dreptunghiular, cu suprafața variind între 4,5 × 9 m și 6 × 11 m.

La construcțiile destinate forajului pînă la 300 m adîncime se planifică săpături la gura sondei, pentru amenajarea terenului și săparea puțului, de 10 m³. La adîncimi de foraj de peste 300 m, volumul de săpături pentru instalarea construcțiilor de suprafață inclusiv săparea puțului se evaluează la 40 m³.

Turla. Ca formă turla este un triunchi de piramidă cu baza pătrată. Înălțimea turlei se determină prin lungimea completă a garniturii de foraj, prăjina grea și racordul pentru cablu și este construită din oțel. Partea de sus în care se încheie turla și pe care se așază geamblacul se numește *coroană*.

Turla metalică prezintă o serie de avantaje: este solidă, se poate transporta ușor, poate fi ușor și repede montată și demontată și nu prezintă pericol de incendiu.

Turla se sprijină pe fundații ale căror mărimi și forme depind de natura terenului și de înălțimea turlei. În forajul de explorare fundațiile turlei se rezumă la un cadru de grinzi parțial îngropate în pămînt.

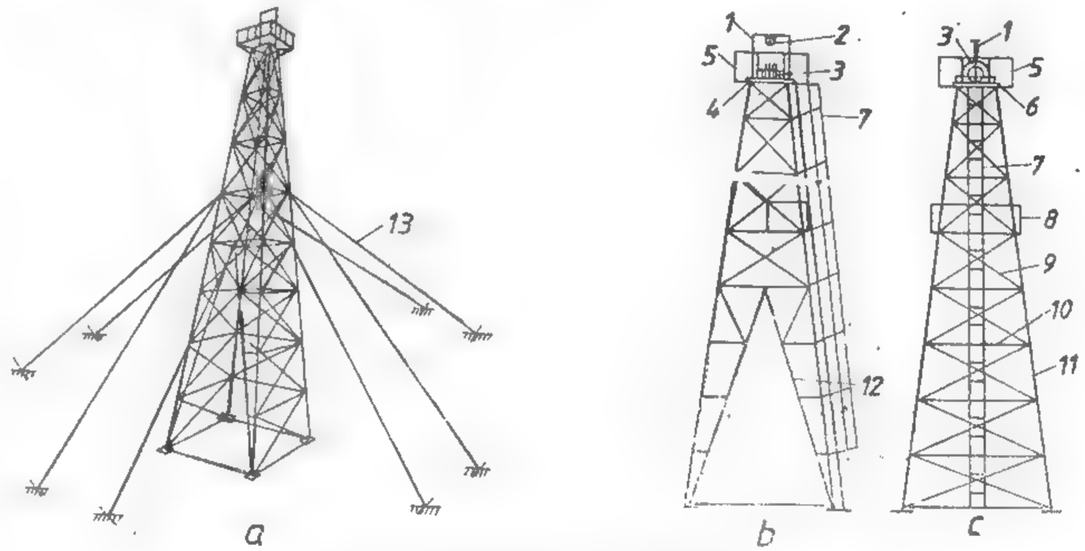


Fig. XI.126. Turlă pentru sondeze:

a — vedere de ansamblu; *b* — vedere din față; *c* — vedere laterală; *1* — capra geamblacului; *2* — scripete; *3* — geamblac; *4* — coroana turlei; *5* — balustradă; *6* — platmforma geamblacului, *7* — scara turlei; *8* platforma podului; *9* — diagonală; *10* — orizontală; *11* — picior; *12* — poarta turlei; *13* — ancore.

Părțile componente ale turlei sînt: capra geamblacului, grinzile coroanei, platforma geamblacului, podul și platforma podarului, degetele pentru stivuirea pașilor, scările de acces și platformele de repaus (fig. XI.126).

Trepiedul. La forajul sondelor de mică adîncime, turla este înlocuită de un trepied. Capetele de jos ale trepiedului se reazemă pe o ramă triunghiulară de 30/25 cm. Capetele de sus sînt reunite și fixate printr-un bulon.

Alegerea tipului de trepiede și fixarea înălțimii lor depinde de lungimea prăjinilor și de așezarea corectă a agregatului de foraj.

Mastul. Pentru forajul de mică adîncime, pînă la 400—500 m, trepiedul poate fi înlocuit prin mast (un stîlp cu unul sau două picioare) (fig. XI.127). El este legat de șasiul instalației sau al camionului și ancorat cu două cabluri.

Masturile prezintă avantajul că sînt ușoare și se manipulează repede, nu necesită fundații, însă folosirea lor este limitată de adîncimea la care se forează.

În prezent marea majoritate a instalațiilor de foraj moderne sînt dotate cu masturi. La unele tipuri de instalații autopurtate mastul se rotește pe o capră și se transportă odată cu instalația. Rabatarea se face mecanic de către agregatul de foraj.

În tabelul XI.47 sînt prezentate caracteristicile masturilor pentru sondeze, conform STAS 7999—83.

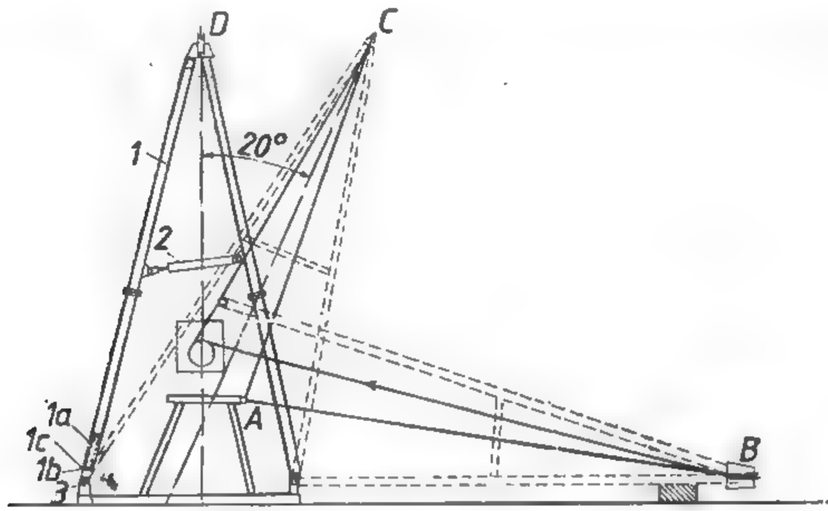


Fig. XI.127. Schema de ridicare a mastului instalaţiei SG-150:

1 — montant; *2* — suport; *3* — bolţ; *A* — suport; *B, C, D* — diferite poziţii ale mastului în cursul ridicării.

Tabelul XI.47

Caracteristicile masturilor pentru sondeze

Caracteristici principale	Mărimea mastului						
	M 1,2	M 3,2	M 5	M 8	M 12,5	M 20	M 32
Sarcina maximă $(Q)_{max}$, kN	12	32	50	80	125	200	320
Sarcina normală la cîrlig (O_n), kN	6,3	20	32	50	80	125	200
Înălţimea liberă a mastului (H), m	3,5	—	12	16,2	—	24	—
Distanţa între montanţii mastului, m	0,5	—	—	4,0	—	5,0	—
Lungimea maximă a pasului de prăjini, m	3,0	—	9,5	13,0	—	18,	—
Unghiul de înclinare maximă a mastului faţă de verticală	45°	45°	30°	20°	15°	15°	15°
Instalaţiile pe care le echipează mastul	F 1,2	FG 3,2	FG 5	FG 8	FG 12	FG 20	FG 32

3.10. INDICATORI TEHNICO-ECONOMICI ÎN ACTIVITATEA DE FORAJ

Activitatea de foraj este urmărită printr-o serie de indicatori tehnico-economic care pot fi grupaţi în:

— indici de utilizare;
— indicii procesului tehnologic;
— indicii de consum — recuperajul de carote;
— productivitatea muncii şi costurile de producţie.

Indicii de utilizare. Stabilesc modul de folosire a instalaţiilor de foraj existente în întreprindere. Ei pot fi: *indici de utilizare extensivă*, care reprezintă raportul dintre timpul efectiv, T_{ef}, de funcţionare a utilajelor şi timpul calendaristic, T_c:

$$i_{ue} = \frac{T_{ef}}{T_c}$$

şi *indicii de utilizare intensivă*, care reprezintă raportul dintre metrii realizaţi, M_r şi metrii planificaţi, M_p:

$$i_{ui} = \frac{M_r}{M_p}$$

Indicatorii principali intensivi, prin care se urmăreşte controlul şi aprecierea activităţii de foraj, sînt *vitezele de foraj* care se exprimă prin raportul între metrajul realizat şi timp în diferitele lui aspecte, şi anume: viteza comercială v_c, viteza mecanică v_m, viteza tehnică v_t şi viteza ciclică v_{ct}.

Viteza comercială $v_c = \dfrac{M \cdot 720}{T_p + T_n}$ [m/troliu lună],

unde: M reprezintă numărul de metri foraţi; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

Viteza mecanică $v_m = \dfrac{M}{T_f}$ [m/h],

unde T_f este timpul de fund (săpat, carotat).

Viteza tehnică $v_t = \dfrac{M \cdot 720}{T_p}$ [m/troliu lună în funcţie]

Viteza ciclică $v_{ct} = \dfrac{M}{L_{tr}}$ [m/troliu lună în patrimoniu]

unde L_{tr} este troliu lună în şantier sau trust.

În formulă simplă, viteza comercială se poate exprima în funcţie de vteza mecanică, cu ajutorul relaţiei:

$$v_c = v_m \; K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 720$$

parametrii K_1, K_2, K_3 fiind:

$$K_1 = \frac{T_f}{T_0} = \frac{T_f}{T_f + T_m};$$

$$K_2 = \frac{T_0}{T_p} = \frac{T_f + T_m}{T_p};$$

$$K_3 = \frac{T_p}{T_c} = \frac{T_p}{T_p + T_n}$$

unde: T_m este timpul pentru manevrare; T_0 — timpul operativ; T_c — timpul comercial; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

Timpul productiv T_p se compune din

$$T_p = T_f + T_m + T + T_t + T_a,$$

iar timpul neptroductiv T_n se compune din:

$$T_n = T_r + T_{rec} + T_s + T_i,$$

unde: T este timpul pentru lărgiri; T_t — timpul pentur tubaj; T_a — timpul pentru operații auxiliare; T_r — timpul pentru reparații și ungeri; T_i — timpul pentru instrumentații; T_{rec} — timpul pentru resăpări, recarotări; T_s — timpul pentru suspendări și opriri.

Din relațiile de mai sus rezultă că viteza mecanică este indicatorul de bază care influențează celelalte viteze de foraj.

Indicii procesului tehnologic. Aceștia exprimă gradul de dezvoltare tehnică într-o anumită perioadă și se referă la:

— metrii forați cu diferite feluri de energie (electrică, termică, pneumatică);
— metrii forați cu diferite scule tăietoare (sape, carotiere);
— metrii forați cu diferite metode (percutant, rotativ).

Indicii de consum. Se referă la cantitatea de materiale, energie etc., consumate pe unitatea de timp, pe unitatea de producție sau pe operația executată. Aceștia se mai pot exprima uneori prin producția realizată pe unitatea de material.

Recuperajul de carote. Prin recuperaj se înțelege raportul între metrii de carote recuperați M_r și metrii carotați M_c, și se exprimă în procente:

$$r = \frac{M_r}{M_c} \ [\%]$$

Procentul de recuperare variază după felul substanței minerale cercetate.

Pentru zonele noi se prevede un recuperaj de peste 80% pe întreaga adîncime a găurii de sondă. În zonele cunoscute se prevede un recuperaj cuprins între 70 și 80%. în formațiunile sterile și între 80 și 100% în zona mineralizată.

Productivitatea muncii. Este un indice de calitate și un factor important în componența costurilor. Productivitatea muncii, W, se exprimă prin raportul dintre metrii forați M și numărul de muncitori lună, N:

$$W = \frac{M}{N},$$

sau

$$W = \frac{G \cdot v_c}{N} = \frac{v_c}{n},$$

unde: G este numărul de trolii, iar n — numărul de muncitori pe instalație.

De aici rezultă că pentru creșterea productivității muncii este necesară creșterea vitezei comerciale.

Costurile de producție. În forajul de explorare se utilizează următoarea structură a costurilor de producție:

A — *cheltuieli directe*, compuse din:
— materiale;
— manoperă;
— utilaj (amortismente, reparații, combustibil, energie etc.);
— transport și manipulare (utilaje și materiale);
— operații speciale (geofizice);

B — *cheltuieli indirecte*, formate din:
— cheltuieli generale (ale secției și întreprinderii);
— sarcini sociale.

$A + B$ = total cheltuieli de foraj.

Costurile, p, pentru metrul forat sînt date de relația:

$$p = \frac{C}{M}$$

în care: C reprezintă cheltuieli totale înregistrate, lei
M — metrajul realizat, m.

Pentru reducerea continuă a costurilor trebuie crescută productivitatea muncii pe seama creșterii vitezei de foraj, reduse consumurile specifice și cheltuielile generale ale secției și întreprinderii. Toate acestea se pot obține ptrintr-o alegere și utilizare rațională a parcului de instalații de foraj.

3.11. DOCUMENTAREA GEOLOGICĂ A FORAJELOR DE EXPLORARE

La fel ca și în cazul lucrărilor miniere, documentarea forajelor de explorare reprezintă o operație foarte importantă, deoarece este scopul final pentru care se execută acest tip de lucrări.

Documentarea, și în această situație, cuprinde trei etape principale: ridicarea topografică, întocmirea coloanei lito-stratigrafice și probarea substanței minerale utile.

Ridicarea topografică constă în stabilirea coordonatelor locației (găurii de sondă în funcție de punctele geodezice din zonă și trecerea poziției pe hărți și planuri topografice.

Întocmirea coloanei lito-stratigrafice se face pe carnetul de teren sau chiar pe formulare tipărite (fig. XI.128). În acest scop se fac observații atente asupra carotei extrase, detritusului și chiar a fluidului de foraj.

ECHIPA

Profilul geologic

SCARA

Foraj cu carotaj continuu. Unghiul înclinării .....

Coordonatele reale ale sondei x ..... y ..... z .....

Foraj începută la ..... terminat la .....

Documentația începută la ..... terminată la .....

Nivelul hidrostatic în sondă .....

∅ sondei [mm]					
Adîncimea cu ∅ dat					
∅ coloanei de tubaj [mm]					
Adîncimea coloanei cu ∅ dat					

Numărul formațiunilor	Recuperaj grafic	Adîncimea [m]	Profil geologic	Adîncimea de extracție [m]	Carota extrasă		Extracția de carotă pe formația dată		Cota abs. a contractelor dintre ace	Descrierea rocilor	Grosimea vizibilă a strat. după carotă
					m	%	m	%			

Fig. XI.128. Formularul tip AG 40, Profilul geologic al

GEOLOGICĂ

Desen nr. .....
Raport anual.....

al sondei nr.

1 :

Adîncimea conform jurnalului de foraj .....
Adîncimea conform măsurătorilor de control .....
Măsurători de deviere a sondei .....

	NUMELE	SEMNĂTURA	DATA
Șeful echipei			
Întocmit			
Desenat			
Verificat			

Unghiul dintre axa carotei și planul de stratificație	Grosimea reală a straturilor [m]	Numărul eșantioanelor	Luarea probelor			Rezultatele analizelor								Obs.
			Numărul probei	Intervalul de luare a probelor		Au [g/t]	Ag [g/t]	Pb [%]	Zn [%]	Cu [%]	S [%]			
				de la	pînă la									

sondei, pentru întocmirea coloanei lito-stratigrafice.

Observațiile cu caracter geologic trebuie să cuprindă o serie de date cu privire la:
— mineralogie:
— petrografie;
— elemente structurale:
— hidrogeologie:
— substanțe minerale utile etc.:
— locul (intervalul) de prelevare a probelor etc.

Toate detaliile care nu pot fi menționate în cadrul coloanei lito-stratigrafice se trec în carnetul de teren.

Avînd în vedere cantitatea redusă de material adusă la suprafață, trebuie acordată o foarte mare atenție culegerii datelor geologice, deoarece repetarea documentării este posibilă numai în cazul executării unui nou foraj.

La întocmirea documentației finale se ține seama de rubricile coloanelor tip (fig. XI.128) încercîndu-se să se treacă datele cele mai precise.

Probarea substanței minerale utile în carote și detritus precum și măsurătorile geofizice în gaura de sondă sînt operații foarte importante care se execută în cadrul explorării. Metodologia acestora este prezentată în secțiunile XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, respectiv XIII. Carotajul geofizic.

4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DUPĂ NATURA SUBSTANȚEI MINERALE UTILE

După natura substanțelor minerale utile, explorarea poate fi împărțită în:
— explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcăminte de metale rare etc.);
— explorarea zăcămintelor de cărbune;
— explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și de roci utile:
— explorarea zăcămintelor detritice.

4.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE MINEREURI

În explorarea zăcămintelor de minereuri se iau în considerare trei criterii: mărmea zăcămîntului, morfologia zăcămîntului și uniformitatea distribuției mineralizației

De mărimea zăcămîntului depinde amplasarea lucrărilor de explorare, complexitatea cercetărilor și raționalizarea lucrărilor pe bază de studii și încercări. În funcție de morfologia zăcămîntului și concentrarea mineralizației se stabilește cuantumul de lucrări de explorare pe unitatea de rezerve, coeficientul de mineralizare și răspîndirea lucrărilor de explorare. De uniformitatea distribuției componentului util și grosimii depinde desimea lucrărilor în vederea realizării unui anumit grad de cunoaștere.

În afara acestor criterii, în practica explorării trebuie să se țină seama de faptul că minereurile, în general, mai conțin, pe lîngă metalele principale, și anumite elemente secundare, metale rare și disperse în cantități exploatabile.

Valorificarea complexă, respectiv evidențierea întregului potențial al zăcămîntului cercetat, este o condiție de bază a explorării zăcămintelor de minereuri.

4.1.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FIER ȘI DE MANGAN

Explorarea și valorificarea minereurilor de fier și de mangan depind de forma sub care acestea apar în natură (oxizi, carbonați sau silicați), de mărimea conținutului, de tehnologia de extragere și de prezența elementelor dăunătoare. Minereurile ce apar sub formă de oxizi de fier (magnetit, hematit, oligist, goetit etc.), respectiv oxizi de mangan (piroluzit, manganomelan, manganit, vad) se valorifică mai ușor decît carbonații și silicații acestora.

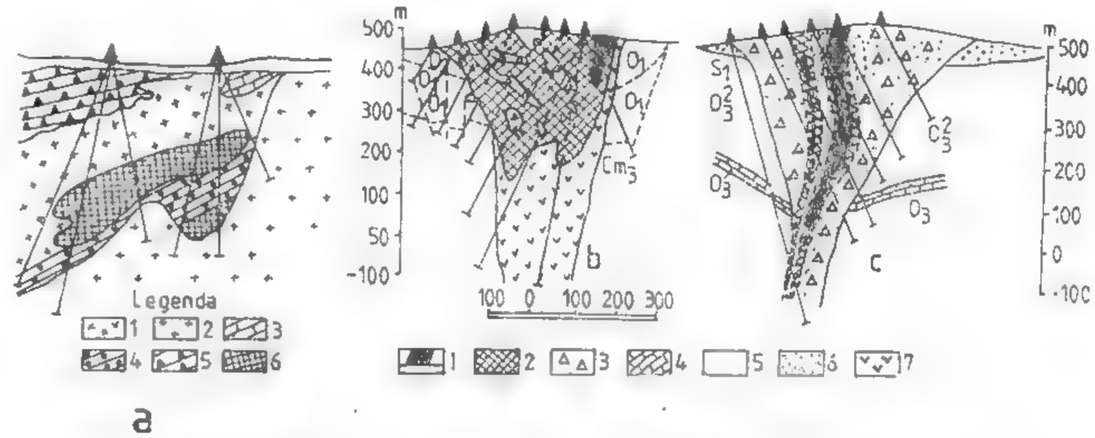


Fig. XI.129. Explorarea prin foraje a unor zăcăminte de minereu de fier:
a — zăcămînt cu formă neregulată (*1* — granitoid; *2* — granit; *3* — calcar; *4* — calcar grezos; *5* — dolomit; *6* — minereu); *b* — zăcămînt sub formă de stock-werk; *c* — zăcămînt de formă tabulară (*1* — minereu bogat; *2* — minereu obișnuit; *3* — skarn; *4* — orizont dolomitic; *5* — roci sedimentare; *6* — arcoze; *7* — dacite.

Valoarea minereurilor scade foarte mult cînd minereul conține elemente dăunătoare, ca: As, S, P, Sb, Cu, Zn, Ba etc., în cantități mari.

Explorarea zăcămintelor de fier. Zăcămintele de fier se prezintă în natură sub forme și mineralizații foarte diferite. Ele apar fie sub formă de corpuri lenticulare în calcare, în roci metamorfice, în skarne, fie sub formă stratiformă în anumite etaje geologice, fie sub formă filoniană sau în aluviuni.

Din punctul de vedere al explorării, zăcămintele de fier se pot grupa în două: *zăcăminte mari*, cu forme și structuri mai puțin complicate, cum sînt zăcămintele lenticulare și cele stratiforme, cu conținuturi de fier cuprinse între 45 și 68% și SiO_2 între 7 și 20% și *zăcăminte mici* și *mijlocii*, cu forme și structuri mai complicate, cu variații mari de conținut și în parageneză cu alte minerale, sulfuri etc., cum sînt zăcămintele de substituție metasomatică, hidrotermale, de skarne sau segregație. La acestea apar, de regulă, zone bogate în fier, zone de amestec și zone de alte minerale utile exploatabile.

Zăcămintele din prima grupă se explorează prin foraje (fig. XI.129), putîndu-se determin rezerve cu precizii de peste 90% cînd corpurile de minereu sînt foarte extinse și nu sînt afectate de mișcări tectonice, iar în zonele tectonizate nu pot fi determinate cu precizii mai mari de 80%. Explorarea de detaliu se execută cu lucrări miniere și foraje subterane pentru părțile inferioare situate la adîncime mare de suprafață. În general,

zăcămintele stratiforme de tip oolitic, de carbonați și hidroxizi de fier, care nu prezintă variații de conținut, se explorează prin foraje, cu o precizie de peste 90%.

Pentru zăcămintele din grupa a doua este necesară explorarea amănunțită, în care ponderea cea mai mare o au lucrările miniere de explorare.

Explorarea zăcămintelor de mangan se face în etapa preliminară prin foraje, iar în etapa de detaliu prin lucrări miniere însoțite de foraje subterane de mică adîncime (fig. XI.130). Zăcămintele care apar la suprafață și care urmează să fie exploatate în

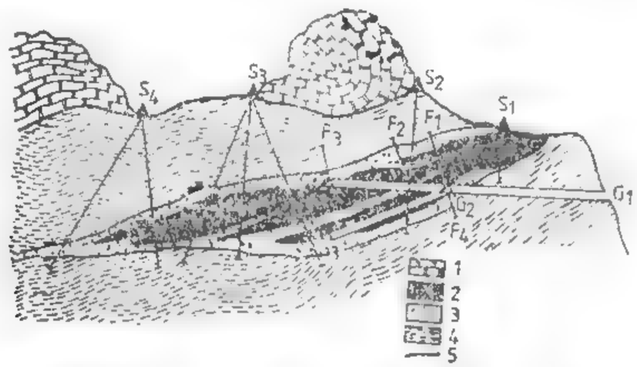


Fig. XI.130. Explorarea unui zăcământ de mangan prin foraje și lucrări miniere:

1 — calcare jurasice; *2* — minereu de mangan; *3* — cuarțite negre; *4* — micașisturi; *S1*...*S4* — foraje de explorare executate de la suprafață; *G1* — galerie transversală de explorare; *G2*...*G4* — galerii direcționale de explorare; *G2*—*G3* — plan înclinat; *F1*...*F4*—foraje de explorare executate din subteran.

carieră se explorează printr-o rețea de foraje de mică adîncime și cu gabarite mici, 20—50 m.

La explorarea zăcămintelor de mangan trebuie să se țină seama de o serie de particularități ale acestor zăcăminte, atît în ceea ce privește rețeaua de explorare, tipul de lucrări cît și metoda de calcul a rezervelor. În toate minereurile, manganul, este însoțit de fier în diferite proporții.

În general minereurile exploatabile de mangan ca și cele de fier apar sub formă de oxizi (piroluzit, manganit, vad etc.) carbonați (rodocrozit etc.) și mai rar silicați (rodonit etc.).

Principalele zăcăminte de minereu de mangan se găsesc sub formă de strate în roci sedimentare și vulcanogene sau de lentile în roci metamorfice.

4.1.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PLUMB ȘI ZINC

Minereul celor două metale se mai numește și *minereu complex* deoarece, de regulă, minereul de Pb are și un conținut de Zn și invers.

Minereurile obișnuite pentru extragerea plumbului și zincului îl constituie sulfurile de tipul galenă, blendă și uneori cu un exces de pirită, avînd ca minerale secundare: calcopirită, sulfosăruri, stibină, minerale de argint etc.

Zăcămintele de Pb și Zn apar sub formă filoniană, de strate sau de lentile.

Zăcămintele *stratiforme extinse* sau *de impregnații* în lentile se explorează pînă la adîncimi de 100—300 m prin foraje, iar pentru zone mai adînci explorarea preliminară se face prin foraje și lucrări miniere. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și foraje subterane scurte executate din acestea.

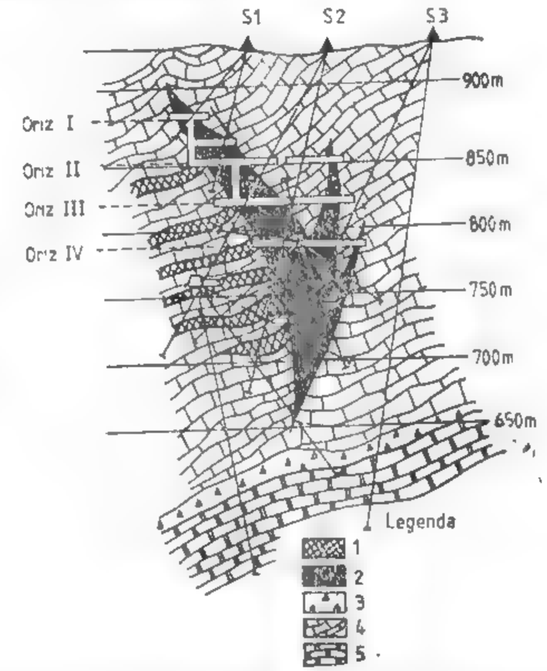


Fig. XI.131. Explorarea unui zăcământ de plumb și zinc prin lucrări miniere și prin foraje scurte și medii:

1 — minereu de zinc; *2* — minereu de plumb; *3* — breccie tectonică; *4* — calcare jurasice; *5* — calcare devoniene; *S1*... *S3* — foraje de explorare executate de la suprafață.

Zăcămintele *filoniene* de Pb și Zn se cercetează, de asemenea, prin foraje în faza preliminară de explorare, atunci cînd se găsesc sub nivelul de bază al regiunii, iar explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și, de la caz la caz, se completează cu foraje scurte.

Cînd zăcămintele apar sub formă de *corpuri lenticulare* fig. XI.131), *stokuri* cuprinse în calcare sau șisturi cristaline sau sub formă de brecii cimentate, ori *impregnații* în zonele de skarn, se recomandă explorarea prin lucrări miniere în faza preliminară și lucrări miniere completate cu foraje scurte în faza de detaliu.

În general, zăcămintele de Pb și Zn, din cauza formei lor mai complicate și a variației conținuturilor metalice, necesită un volum mare de lucrări de explorare, ceea ce mărește costul explorării pe tona de minereu prin comparație cu explorarea zăcămintelor de fier și de mangan.

La determinarea rezervelor, în afară de metalele principale trebuie determinate și conținuturile de metale secundare, metale nobile și metale rare, pentru o evaluare corectă a potențialului zăcămîntului.

4.1.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CUPRU

Zăcămintele cuprifere apar sub diferite forme în natură, principalele minereuri fiind constituite din sulfuri în care predomină calcopirita.

Se consideră exploatabile minereurile de cupru pînă la conținuturi sub 1%, în care se include și cuprul echivalent pentru alte metale extractibile (S, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Mo etc.). În mod excepțional, zăcămintele foarte mari se consideră exploatabile la conținuturi pînă la 0,2% Cu.

Din punctul de vedere al formei se disting zăcăminte cuprifere stratiforme care apar în strate grezoase sau conglomeratice, precum și în șisturi bituminoase, zăcăminte de

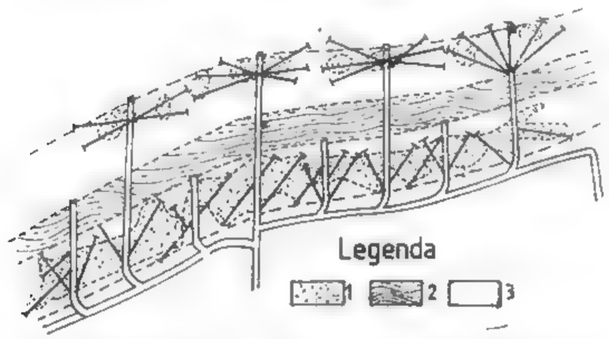


Fig. XI.132. Explorarea unui zăcămînt de cupru prin lucrări miniere și foraje scurte orizontale:
1 — minereu cuprifer; *2* — șisturi cloritoase; *3* — șisturi cuarțoase.

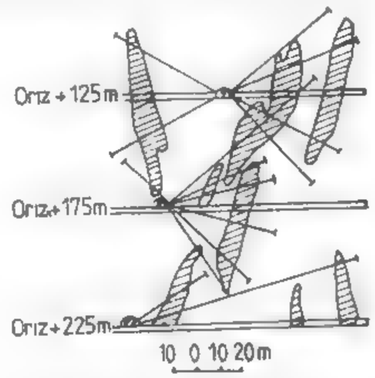


Fig. XI.133. Explorarea unui zăcămînt de cupru prin lucrări miniere și foraje în evantai la orizonturi diferite.

formă filoniană sub care apar de regulă mineralizațiile hidrotermale, zăcăminte sub formă de stockuri formate din rețele de fisuri localizate în roci carbonatice sau în roci magmatice metamorfozate și zăcăminte lenticulare legate de roci bazice și ultrabazice sau situate în roci metamorfice. Cu excepția zăcămintelor stratiforme intrastratificate, cu formă puțin variabilă, care se pot explora prin foraje, celelalte tipuri de zăcăminte cuprifere se explorează în toate fazele prin lucrări miniere, însoțite în anumite cazuri de foraje scurte subterane, orizontale sau înclinate sub formă de evantai (fig. XI.132 și XI. 133). Zăcămintele porfirice de cupru se explorează numai prin forje sau combinat (foraje și lucrări miniere).

Costul explorării este ridicat, datorită volumului mare de lucrări miniere necesare explorării în detaliu a acestor tipuri de zăcăminte.

4.1.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AUR ȘI ARGINT

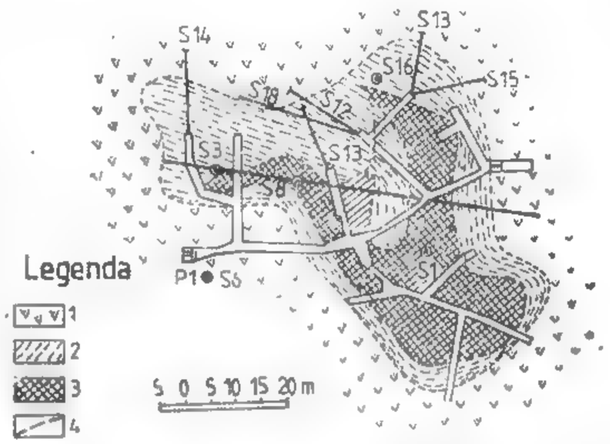
În zăcămintele aurifere, aurul este asociat cu argintul în proporții caracteristice. Aurul apare în majoritatea cazurilor zăcămintelor exploatabile sub formă metalică, necombinat, și numai în cantități foarte mici combinat sub formă de telururi.

Caracteristic zăcămintelor aurifere este variația mare a conținutului de aur. În cuprinsul zăcămîntului apar concentrații formînd puncte de îmbogățire, în special în zonele în care apar complicații de formă (intersecții de filoane, schimbări de înclinare, distorsiuni, boltiri etc.). Cînd apare împreună cu alte sulfuri, zonele de concentrații în aur se găsesc la periferia acestora. În numeroase cazuri mineralizațiile aurifere apar în zona superioară a mineralizațiilor de Pb și Zn, în zona periferică a minereului cuprifer sau în zonele de trecere la alte mineralizații.

Argintul apare în zăcămintele aurifere combinat în sulfosăruri sau legat de galenă.

Zăcămintele primare de aur și argint apar în roci magmatice, sub formă de filoane, stokuri etc., fie în rocile învecinate transformate în colectori, fie sub formă de corpuri riolitice brecifiate, fisurate și cimentate cu cuarț aurifer. Unele din aceste corpuri au aspect tufogen, iar altele au caracter tufitic ori ignibritic sau chiar de riolite regenerate.

Fig. XI.134. Explorarea unui zăcămînt aurifer prin lucrări miniere și foraje:
1 — porfire; *2* — șisturi sericitoase; *3* — baritină; *4* — conturul minereului aurifer; *S1*, *S3*, *S8*, *S16* — foraje verticale executate de la suprafață; *S13*...*S15*, foraje executate din subteran.



Mineralizații aurifere mai pot apărea în cuarțite, gnaise cuarțitice sau în gresii și conglomerate metamorfozate hidrotermal.

În cele mai multe cazuri aurul și argintul apar sub formă de filoane de grosimi variabile, cu structură complexă, sau sub formă de rețele de filonașe grupate destul de compact în lentile mari.

Explorarea, ținînd seama de variația mare de conținut și de posibilitatea concentrării mineralizațiilor în zone sau puncte bogate în aur, se face prin lucrări miniere completate uneori, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, de foraje (fig. XI.134).

Se recomandă să nu se treacă la explorarea de detaliu pînă nu se cunosc în suficientă măsură condițiile de explotabilitate și pînă nu se verifică prin faza preliminară ipotezele asupra potențialului zăcămîntului. Pentru zăcăminte mici și foarte mici bogate în aur liber, este indicat să se facă explorarea concomitent cu exploatarea.

În general, în exploatare trebuie să se țină seama de distribuția capricioasă a aurului și de faptul că o explorare de detaliu necesită volume foarte mari de lucrări și cheltuieli insuficient justificate.

4.1.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PIRITĂ ȘI DE ALUMINIU

Minereul de pirită se prezintă fie compact, atunci cînd cristalele de pirită sînt concrescute între ele, fie sub formă de impregnație, cînd cristalele sînt împrăștiate în roca colectoare.

Zăcămintele de pirită apar sub formă de strate în depozite sedimentare, sub formă de corpuri lenticulare mari interstratificate în roci metamorfice, sau situate în

roci vulcanice etc., sub formă de corpuri de impregnație în alte roci, de origine hidrotermală sau de substituție metasomatică sau sub formă compactă în sisteme de filoane.

Majoritatea zăcămintelor de pirită au forme complicate și de aceea pentru explorare sînt necesare rețele dese de puncte de interceptare. Explorarea preliminară se face prin lucrări miniere.

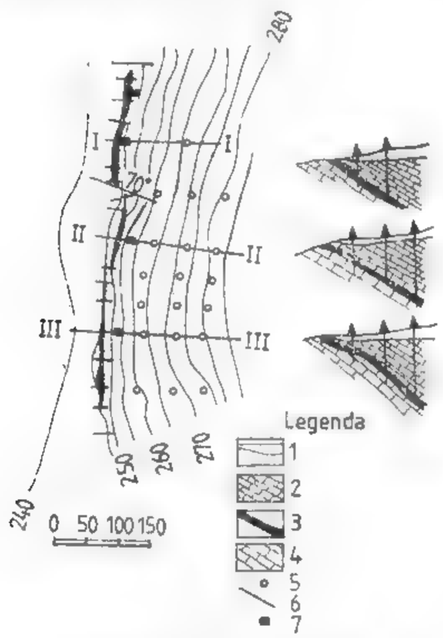


Fig. XI.135. Explorarea unui zăcămînt de bauxită prin foraje de la suprafață:

1 — sol, *2* — calcare sarmațiene; *3* — bauxită; *4* — calcare cretacice; *5* — locațiile forajelor; *6* — șanțuri; *7* — puțuri de mînă.

Bauxita reprezintă minereul caracteristic pentru extragerea aluminiului. Ea este constituită dintr-un amestec de oxizi hidratați de aluminiu — diaspor, bohemit, hidragilit — cu oxizi de fier, oxizi de titan, clorite, argile etc.

Zăcămintele de bauxită apar fie sub formă de corpuri cu contururi complexe, rezultînd din umplerea unor carsturi în calcare, fie sub formă lenticulară, dispuse interstratificat în sedimente subacvatice (fig. XI.135).

Mărimea corpurilor este diferită — de la cuiburi mici de ordinul sutelor de tone pînă la depozite de milioane de tone.

Explorarea se face prin foraje și lucrări miniere. Forajele se folosesc în cazurile în care depozitele acoperitoare au grosimi mari, cercetarea efectuîndu-se pe aliniamente așezate la distanțe corespunzătoare condițiilor locale de zăcămînt.

4.1.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE METALE RARE

În categoria metalelor rare sînt cuprinse metale mai puțin comune. Ele pot fi împărțite în trei grupe: 1) metale necesare industriei curente (mercur, stibiu și arsen; crom; nichel și cobalt, staniu și wolfram; molibden și bismut; vanadiu, titan); 2) metale cu utilizări speciale (berliu, litiu, tantal, niobiu, zircon, hafniu, cadmiu, germaniu, indiu, galiu, taliu, seleniu, telur și T.R); 3) metale radioactive (uraniu și thoriu) și metale din grupa platinei (platin, osmiu, iridiu și paladiu).

4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente

Explorarea zăcămintelor de mercur, stibiu și de arsen. Zăcămintele acestor metale prezintă aceleași caracteristici și de aceea și metodele de explorare sînt identice.

Minereurile obișnuite pentru *mercur* sînt cele cu cinabru, considerate exploatabile la un conținut mediu ce poate coborî sub 0,1%; pentru stibiu minereurile cu stibină cu conținut mediu minim de circa 2% Sb, iar pentru arsen, minereul cu sulfuri (realgar, auripigment, mispichel) cu un conținut mediu minim de circa 4% As.

Zăcămintele de mercur sînt rare și apar de regulă sub formă de impregnații de cinabru în roci poroase sau foarte fisurate. Zona mineralizată prezintă unele puncte sau sectoare cu îmbogățiri, localizate în special în planele de încălecare, în bolta anticlinalelor și în porțiunile foarte fisurate. Uneori cinabrul apare în lentile de limonit și hematit, iar în alte zăcăminte el este însoțit de minerale de stibiu și arsen (stibină, realgar, tetraedrit etc.).

Rocile în care apar cantonate mineralizațiile cinabrifere sînt roci sedimentare grezoase, conglomeratice, alternînd cu șisturi cutate și fracturate. Mineralizația este de tip hidrotermal sau de substituție metasomatică. Uneori mineralizația de cinabru apare și în tufuri și brecii vulcanice dislocate și fisurate.

În explorare se ține seama în primul rînd de caracterul, structura și tectonica rocii colectoare.

Pentru aceasta explorarea se face printr-o rețea de foraje de mică adîncime combinată cu lucrări de suprafață și scurte galerii. După confirmarea datelor cerute în faza explorării preliminare pregătitoare se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări subterane combinate, de la caz la caz, cu foraje de mică adîncime.

În ceea ce privește *stibiul* și *arsenul*, acestea formează zăcăminte mici și de importanță economică redusă care nu pun probleme din punctul de vedere al explorării. Dat fiind faptul că atît stibiul cît și arsenul apar în cantități mari asociate cu minereurile complexe, odată cu explorarea zăcămintelor de minereuri complexe se urmăresc și mineralizațiile de stibiu și arsen, cunoscut fiind că acestea apar predominant în zonele periferice mineralizațiilor complexe.

Explorarea zăcămintelor de nichel și de cobalt. Minereurile nichelifere și cobaltifere apar în natură sub formă de strate, de corpuri lenticulare de impregnație și filoane. Mai apar în minereurile complexe sau cuprifere ca metale secundare în parageneză cu Bi, Ag și U în zăcăminte primare reprezentate prin arseniuri și sulfoarseniuri sau sulfuri. De asemenea, apar ca produse reziduale pe roci ultrabzice și dolomitice prin bazine de concentrare.

Cînd se prezintă sub formă de strate, între acestea apar zone lateritice cobaltonichelifere, asociate cu mineralizații cuprifere. Sub formă de rețele complexe de vinișoare de minereu cu caracter hidrotermal, apare nichelul și cobaltul în strate colectoare bituminoase cu caracter organogen.

Sub formă de corpuri lenticulare, mineralizația cu nichel și cobalt apare în norite, gabrouri, peridotite etc., la contactul serpentinelor sau în rocile înconjurătoare. Cînd apar sub formă filoniană sînt cuprinse în șisturi bituminoase sau în rocile bazice și ultrabazice.

Zăcămintele stratiforme situate aproape de suprafață se explorează prin lucrări miniere ușoare: șanțuri, puțuri de mînă și care uneori se completează cu foraje de mică adîncime.

Zăcămintele lenticulare și filoniene se explorează de obicei cu rețele de foraje a căror aliniamente se amplasează la distanțe mai mari în exploatarea preliminară pregătitoare, care apoi se completează, în faza următoare de explorare, cu lucrări miniere și foraje de mică adîncime executate din subteran (fig. XI.136).

Explorarea zăcămintelor de crom. Minereul de crom îl constituie cromitele cu amestec de spineli de magneziu și spineli de fier.

Cromitele apar sub formă de pungi, de lentile stratiforme sau cuiburi de diferite dimensiuni, răspîndite în roci ultrabazice. Rocile obișnuite în care se găsesc corpurile și cuiburile de cromit sînt serpentinele alterate și dezagregate. De cele mai multe ori conținutul cel mai ridicat de crom se găsește în partea centrală a corpurilor și cuiburilor și scade spre periferia acestora.

În explorarea zăcămintelor de crom trebuie să se țină seama de aceste aspecte și de faptul că adeseori mineralizația se găsește închisă în mase mari magmatice, mai mult sau mai puțin serpentinizate, sub formă de cuiburi izolate fără legătură între ele și care nu pot fi detectate prin metodele geofizice. Ca primă indicație trebuie observate compoziția și structura rocilor înconjurătoare. Pe baza acestor date se trece la explorarea prin foraje sau prin galerii de coastă. Mineralizațiile întîlnite, dat fiind caracterul lor izolat, trebuie explorate sistematic, folosind cercetarea prin traversări în cruce în locul urmăririi pe contur. Urmărirea pe verticală se face cu foraje sau lucrări miniere — suitori și coborîtori.

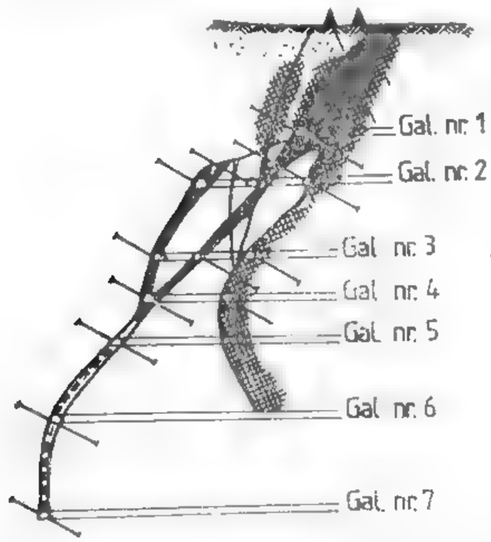


Fig. XI.136. Explorarea unui fipon nichelifer prin foraje și lucrări miniere.

Explorarea zăcămintelor de staniu și de wolframe. Zăcămintele de staniu și wolfram pot fi sub formă filoniană sau aluvionare. Sub formă filoniană apar în zonele marginale sau periferice ale granitelor, avînd ca minerale casiterita și wolframitul.

Sub formă aluvionară apar în special zăcămintele bogate în casiterită. Se consideră exploatabile aluviunile la un conținut de la 0,5 kg/m³ în sus. Aluviunile cu conținut de wolfram sînt mai reduse. Unele aluviuni se explorează și se exploatează simultan pentru ambele metale. Explorarea se face cu foraje în rețele de 50 × 100 m. În prealabil se execută foraje de referință

Explorarea de detaliu se face cu lucrări miniere.

Zăcăminte cu conținut de staniu mai mic, dar cu mai mult wolfram sub formă de scheelit, apar în skarne și în pegmatite.

Explorarea preliminară a skarnelor și a pegmatitelor cu scheelit sau cu casiterit se face de regulă prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală și de detaliu prin lucrări miniere și foraje dirijate.

Explorarea zăcămintelor de molibden și de bismut. Mineralizațiile de molibden ca și cele de bismut apar sub formă de impregnații, vinișoare, filonașe sau lentile mici de molibdenit și bismutină.

Atît molibdenul cît și bismutul mai apar în filoane de cuarț și carbonați, alături de mineralizații de plumb, zinc, cupru și pirită.

Zăcămintele de bismut apar sub aceleași forme ca și zăcămintele de molibden, fiind însoțite întotdeauna și de alte minereuri. De regulă mineralizațiile de bismut constituie zone îmbogățite de bismut, ale unor zăcăminte de skarn.

Explorarea se face prin foraje combinate cu lucrări miniere.

Explorarea în zonele de alterație ale unor zăcăminte de bismut în skarn se face prin lucrări de suprafață, iar în adîncime prin foraje.

Cînd apar sub formă de filoane, lentile etc., au contur foarte complicat și o distribuție foarte neuniformă în componenți utili și de aceea și explorarea este dificilă. În asemenea cazuri este indicată explorarea prin lucrări miniere.

Explorarea zăcămintelor de vanadiu. Minereurile caracteristice de vanadiu constituite din sulfuri apar sub formă de lentile sau filoane prinse în roci sedimentare bogate în hidrocarburi și traversate de dike-uri de roci eruptive. Acestea sînt rare.

Minereuri frecvente sînt cele de vanadați, care apar în pălăriile de fier ale unor zăcăminte de plumb și zinc sau de cupru.

Explorarea trebuie adaptată la specificul fiecărui zăcămînt.

Lucrările de explorare preliminară au ca prim scop să delimiteze în mare zonele cu grosimi și conținut interesant. Cînd mineralizațiile sînt localizate în gabrourile cu magnetit, se execută foraje în faza preliminară, pentru verificarea anomaliilor magnetice sau a ipotezelor privind extinderea zăcămîntului. Cînd zăcămîntul este omogen și la adîncimi ce nu depășesc 300 m, explorarea preliminară se face prin foraje, iar explorarea de detaliu prin lucrări miniere de suprafață.

Explorarea zăcămintelor de titan. Minereurile obișnuite pentru extragerea titanului sînt cele de rutil și ilmenit.

Zăcămintele primare au forme tabulare cu conținut ridicat în ilmenit și puțin magnetit.

Explorarea maselor tabulare a dike-urilor, a lentilelor și a filoanelor cu ilmenit, apatit și rutil se face în urma unor studii detaliate privind structura și răspîndirea corpurilor eruptive. Explorarea preliminară începe cu foraje de referință, după care se continuă în fazele următoare explorarea prin lucrări miniere.

Zăcăminte importante de titan și ușor de exploatat sînt cele aluvionare. Aluviunile cu rutil sau ilmenit pot fi valorificate la un conținut sub 10 kg/m³, mai ales atunci cînd din ele se valorifică și alte elemente ca: aur, magnetit, zircon etc. Explorarea aluviunilor titanifere se face prin foraje de mică adîncime, amplasate pe aliniamente transversale așezate la distanțe de peste 1 000 m în explorarea preliminară regătitoare, de pînă la 200 m în explorarea preliminară principală și la distanță de 50 m în explorarea de detaliu.

4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale

Aceste metale se caracterizează prin proprietăți tehnologice deosebite și utilizări speciale în tehnica temperaturilor înalte, în radiotehnică, tehnica nucleară etc. Din această grupă fac parte cadmiul, indiul, galiul, seleniul, beriliul, litiul, niobiul și tantalul, zirconiul și telurul. Unele din acestea nu au minereuri proprii, apărînd fie în amestecuri izomorfe, fie în minerale comune (blendă, galenă etc.) sau sînt minerale însoțitoare ale unor minerale metalifere.

Alte metale rare cu utilizări speciale au minereuri proprii și apar asociate în unele pegmatite, aplite, carbonatite sau în zonele periferice ale unor intruziuni de granite sau de roci alcaline.

Explorarea zăcămintelor de beriliu. Mineralul din care se extrage este oxidul de beriliu, care formează cu roca minereul propriu.

Concentrațiile de beriliu formează zone în pegmatitele bogate în cristale mari. În anumite granite, beriliul poate fi un constituent normal, cu răspîndire uniformă, și exploatabil în unele zone. El mai poate apărea în filoane sau stockuri cu caracter pneumatolitic-hidrotermal, în anumite skarne în calcare, la contactul acestora cu intruziunile granitoide.

Explorarea minereului de beriliu se face împreună cu a altor minerale sau metale rare din pegmatite. Prin lucrări se determină zonalitatea, extinderea și structura corpului de pegmatit, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară și de detaliu se face numai prin lucrări miniere la gabarit mic

(șanțuri și puțuri, fig. XI.137; galerii de coastă și transversale scurte, fig. XI.138). O deosebită atenție trebuie acordată probării.

Explorarea zăcămintelor de niobiu și tantal. Niobiul are diferite utilizări în tehnica nucleară, iar tantalul ca înlocuitor al platinei. Minereurile lor conțin minerale de niobotantalați (tantalit, piroclor etc.). Se consideră valorificabile minereurile cu conținuturi de peste 0,02% Nb + Ta.

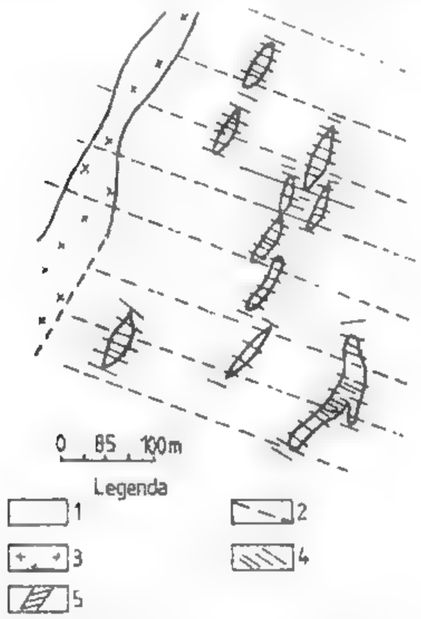


Fig. XI.137. Explorarea zăcămintelor de beriliu prin lucrări miniere: *1* — gnaise; *2* — alinieamente de puțuri; *3* — granite; *4* — șanțuri; *5* — pegmatite cu beriliu.

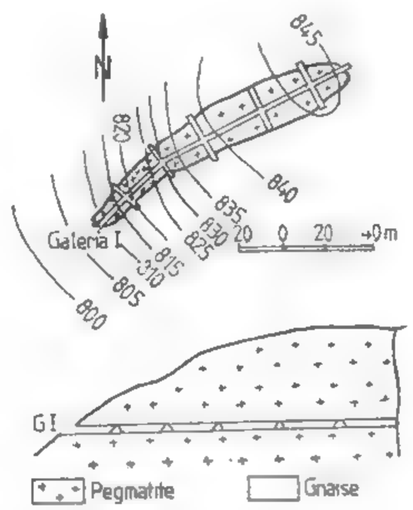


Fig. XI.138. Cercetarea pegmatitelor prin lucrări miniere subterane.

Niobotantalații apar în granitoide, de obicei în pegmatitele granitice în care se găsește și beriliul. Metodologia de explorare este aceeași, fie că niobotantalații apar în zone diferite, fie că apar împreună cu beriliul.

Zăcăminte importante de niobiu și tantal apar, de asemenea, în aluviunile din zona unor sienite.

Explorarea zăcămintelor de zirconiu și de hafniu. Aceste metale au utilizări în construcția utilajului și aparaturilor de temperatură înaltă sau anticorosivă, în electrotehnică etc.

Cele mai interesante zăcăminte primare cu conținut uneori peste 1% apar în anumite zone ale unor sienite nefelinice sau în pegmatitele lor, în special în carbonatite.

Cele mai importante zăcăminte pentru extragerea zirconiului și hafniului sînt zăcămintele aluvionare.

Metalul mai poate fi obținut ca produs secundar din aluviunile cu monazit.

Explorarea zăcămintelor primare, respectiv a pegmatitelor, a unor zone din rocile alcaline a carbonatitelor și filoanelor exploatabile pentru zircon, se face după aceeași metodologie ca și în cazul beriliului, niobiului și tantalului.

4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive

În această grupă sînt cuprinse uraniul, thoriul și TR (lantanidele). Mineralele acestora se prospectează prin măsurări radiometrice și se urmăresc prin aceleași metode și în lucrările de explorare.

Zăcămintele de uraniu apar în condiții foarte diferite ca formă (lentile, impregnații, filoane) și mineralizare.

Explorarea zăcămintelor uranifere este în general dificilă și necesită un volum foarte mare de lucrări, dată fiind lipsa de legătură dintre diferitele corpuri mineralizate sau între filoanele ce prezintă îmbogățiri pe anumite zone.

În explorare este indicat să se urmărească controlul mineralizației, colectorii petrografici și cei structurali și mai ales extinderea lor. Explorarea preliminară și cea amănunțită se face prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri) și prin lucrări subterane (galerii scurte de coastă, galerii direcționale) și prin foraje, toate controlate în mod permanent cu radiometrul.

În ceea ce privește thoriul, sursa principală este reprezentată de monazite, de piroclor și de anumiți oxizi complecși care cuprind minerale de ceriu și TR.

Mineralizațiile cu monazite apar sub formă de impregnații în anumite zone ale masivelor granitice, dar mai ales în unele corpuri magmatice alcaline denumite *zone TR*.

Ca și celelalte metale rare cu utilizări speciale, thoriul și TR (monazite) se exploatează în cea mai mare parte din aluviuni a căror explorare se face prin foraje.

4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa platinei

Din această grupă fac parte: osmiul, iridiul, ruteniul, radiul și paladiul, care apar fie sub formă liberă sau aliate între ele, fie aliate cu fier, aur și nichel și mai rar sub formă de arsenuri, sulfuri sau stibiuri.

Sursa petrografică pentru aceste metale o constituie rocile ultrabazice, atît zonele de segregație magmatică de tipul noritelor, cît și coșurile de dunite în care apare platina fin diseminată.

Explorarea platinei și a mineralelor din grupa sa se face în aluviuni, care reprezintă principala sursă de producție pentru aceste elemente.

4.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Indiferent de domeniul de utilizare, cărbunii trebuie obținuți la costuri cît mai reduse. În acest scop cheltuielile de explorare trebuie să fie reduse prin aplicarea metodelor de explorare corespunzătoare condițiilor de zăcămînt, iar cheltuielile de exploatare, de asemenea reduse, prin aplicarea unor metode de mare productivitate

4.2.1. CLASIFICAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI DIN PUNCTUL DE VEDERE AL EXPLORĂRII

Clasificarea cărbunilor sub aspectul explorării are la bază următoarele criterii: mărimea, structura, constituția și calitatea.

După criteriul *mărimii*, se împart în:

— zăcăminte foarte mari, cu rezerve exploatabile de peste 100 mil. tone;
— zăcăminte mari, cu rezerve exploatabile între 20 și 100 mil. tone;
— zăcăminte mijlocii, cu rezerve exploatabile între 5 și 20 mil. tone;
— zăcăminte mici, cu rezerve exploatabile între 0,6 și 5 mil. tone;
— zăcăminte foarte mici, cu rezerve exploatabile sub 0,6 mil. tone.

După criteriul *structural*, se împart în:

— zăcăminte slab ondulate, stratiforme cu înclinări mici, nefaliate sau foarte puțin faliate;
— zăcăminte cutate și faliate dar cu stratificația și elementele de poziție ale stratelor bine distincte;
— zăcăminte cu structură geologică complicată, intens cutate și faliate, sub formă de corpuri sau lentile, variate ca dimensiuni și poziție.

După criteriul *constituției*, se împart în:

— zăcăminte uniforme, cu grosimea și calitatea cărbunilor foarte puțin variabile;
— zăcăminte variabile, cu grosimea și calitatea variabile în limitele exploatabilității;
— zăcăminte foarte variabile, cu grosimea foarte variabilă, avînd îngroșări, lamINări și cu calitatea foarte diferită, depășind limitele de calitate.

După criteriul calității, clasificarea are la bază încadrarea cărbunilor în clasificările industriale.

Prin explorare, în cazul zăcămintelor foarte mari și mari, pe baza datelor prospecțiunii, se delimitează un perimetru de explorare ținînd seama de tema dată, de capacitatea de lucru etc., folosind ca limite limitele naturale geologice (fracturi, contacte etc.) sau limitele geografice (rîuri, căi de comunicație, localități etc.)

4.2.2. CARACTERISTICILE GENERALE ALE EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate intercalate în formațiuni sedimentare caracteristice, bine dezvoltate, ceea ce are repercusiuni favorabile atît asupra metodelor de explorare cît și asupra volumului acestora.

Explorarea preliminară pregătitoare este mai dezvoltată în cazul cărbunilor decît pentru celelalte substanțe minerale, deoarece ea trebuie să completeze datele care în mod natural se obțin în prospecțiunea de detaliu și care se face în mai mică măsură sau nu se execută deloc în cazul cărbunilor.

Pe de altă parte, explorarea preliminară principală trebuie să furnizeze un volum suficient de date pentru ca să se poată proiecta exploatarea. De aceea, explorarea preliminară principală trebuie să aibă la bază un proiect general care să poată fi readaptat sistematic după noile date obținute pe parcurs.

În final explorarea preliminară trebuie să rezolve:

— geologia de amănunt a formațiunii carbonifere;

— geologia regiunilor vecine, dinamica formării bazinului etc.;
— calitatea și grosimea stratelor de cărbuni în aflorimente, extinderea și variația grosimii stratelor de cărbuni.

Cu excepția explorării de detaliu, lucrările de explorare preliminară se fac aproape exclusiv prin foraje. Punctele de interceptare sînt așezate pe aliniamente ce formează rețele regulate pătrate sau triunghiulare și care sînt orientate perpendicular pe direcția accidentelor structurale, cute și falii.

Numai în cazul cînd explorarea preliminară prin foraje nu poate clarifica în suficientă măsură structura din cauza tectonizării pronunțate, a adîncimii mari etc., se recurge parțial la lucrări miniere însoțite de foraje subterane.

Pentru a avea o dozare rațională a lucrărilor de explorare se recomandă să se traseze pe harta bazinului o rețea regulată de locații de foraje la distanțele maxime, denumită *rețeaua fundamentală* și față de acestea să se amplaseze, în funcție de necesități, noi locații. Se vor evita rețelele de desime mare pentru adîncimi mai mari de 500 m.

Explorarea de detaliu a cărbunilor este indicată numai în măsura realizării gradului de asigurare a extracției.

4.2.3. FAZELE ȘI SPECIFICUL EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

În ceea ce privește fazele de explorare ele sînt aceleași, dar diferă comparativ cu alte substanțe, prin felul lucrărilor de explorare și ponderea lor în procesul de cercetare a cărbunilor.

Explorarea preliminară. În majoritatea cazurilor explorarea zăcămintelor de cărbuni începe pe baza unor date sumare asupra regiunii și asupra zăcămîntului; de aceea, prin metodologia și etapele de lucru trebuie să se asigure obținerea tuturor datelor necesare întocmirii proiectului de explorare preliminară principală și în cele din urmă o evaluare cît mai precisă a rezervelor zăcămîntului.

— *Explorarea preliminară pregătitoare.* În această subfază este necesar să se completeze datele prospecțiunii, în ceea ce privește precizarea așezării, formei, extinderii și parametrilor calitativi ai zăcămîntului, cu ajutorul unor lucrări ușoare.

Dacă nu s-au efectuat cercetări suficiente este necesar să se întocmească harta topografică de detaliu la scara 1:10 000 sau cel puțin 1:25 000, harta geologică de detaliu la scara 1:10 000 și secțiuni caracteristice prin bazinul carbonifer și formațiunile din fundament. Lucrările de completare a cartării și prospecțiunii, spre deosebire de prospecțiune, au în subfaza explorării preliminare un caracter specific explorării în sensul că ele trebuie să verifice ipoteza extinderii zăcămîntului.

Pentru zăcămintele cu structură complicată, la care forajele nu pot furniza date suficiente, cum sînt zăcămintele de cărbuni superiori care sînt frămîntate și intercalate în structuri complexe, ele se înlocuiesc în parte cu lucrări miniere sau lucrări combinate.

— *Explorarea preliminară principală.* Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări grele. Date fiind atît tehnica specială de execuție a acestor lucrări cît și costul lor ridicat, este necesar ca metodica lucrărilor să fie stabilită pe baza unui studiu tehnico-economic în mai multe variante și în care să se țină seama

de posibilitatea folosirii lucrărilor în faza următoare de explorare sau în faza de exploatare.

Ținînd seama de criteriile de clasificare a zăcămintelor de cărbuni sub aspectul explorării, metodologia lucrărilor de explorare se diferențiază după următoarele cazuri:

— zăcămintele mari stratiforme, cu grosimi și înclinări puțin variabile, situate la adîncimi mai mici de 500 m, se explorează prin foraje dispuse în rețele uniforme;

— zăcămintele mari stratiforme, dar cu grosimi și înclinări variabile, situate la adîncimi pînă la 1 000 m, se vor explora prin foraje dispuse în rețele uniforme numai dacă din punct de vedere economic exploatarea este justificată la aceste adîncimi și fără să se mărească densitatea lucrărilor de explorare;

— zăcămintele mari și mijlocii, cu grosimi foarte variabile și cu structuri complicate, se explorează prin foraje în subfaza explorării preliminare pregătitoare, iar în subfaza explorării preliminare principale prin foraje și lucrări miniere;

— la zăcămintele mijlocii și mici, cu sorturi de cărbuni de valoare mare, dar formate din strate distorsionate, din lentile sau corpuri compuse în formațiuni dislocate, se aplică metodologia de explorare folosită pentru minereuri.

Explorarea de detaliu. Această fază se execută numai în anumite condiții, legate de punerea în exploatare a perimetrului cercetat sau a unei părți din acesta. Ea are ca obiectiv realizarea unui grad de asigurare a exploatării cu rezerve deschise și pregătire pentru o anumită perioadă de exploatare de 0,5—2 ani. În acest scop se execută lucrări miniere — deschiderea zăcămîntului, lucrări de pregătire — galerii, suitori pentru compartimentarea în blocuri și panouri de exploatare.

4.2.4. EXEMPLE DE EXPLORARE A ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni, chiar și cele considerate uniforme, pot prezenta porțiuni cu structuri diferite. Din aceste motive sectorizarea sau raionarea din punctul de vedere al structurii, calității etc., a stratului se impune ca o necesitate pentru realizarea unei explorări raționale a zăcămîntului carbonifer sau a bazinului respectiv.

Raionarea mai este impusă și de considerații legate de sistematizarea exploatării, efectuarea lucrărilor de deschidere și pregătire în cadrul explorării de detaliu etc., și de determinarea rezervelor.

Rezervele se vor putea contura astfel la diverse categorii, ținînd seama și de gradul de complicație a raioanelor respective.

Criteriile de raionare sînt diferite. Pentru stratele de cărbuni cutate, raionarea poate fi făcută pe baza datelor geologice de suprafață și verificată prin foraje de referință sau o rețea foarte rară de foraje. În cazul stratelor de cărbuni deformate de mișcări tectonice se recomandă separarea zonelor mai intense deformate de cele mai puțin deformate etc.

Cazul I al unui zăcămînt de lignit situat în formațiuni slab cutate. Considerînd un zăcămînt de lignit aproape de suprafață, situat în formațiuni tinere slab cutate, pentru explorarea sa se face raionarea unor sectoare ale bazinului în explorarea preliminară pregătitoare. Lucrările din această subfază cuprind forajele executatea pe aliniamente distanțate la 5—15 km, iar distanța între lcoații este de 1—2 km. Prin aceste aliniamente se urmărește delimitarea raioanelor (perimetrelor) cu condiții diferite în ceea ce privește structura și exploatarea.

În figura XI.139 este reprezentat un astfel de perimetru de cercetare cu o suprafață de 12,5 km. În subfaza principală a explorării preliminare se execută o rețea de foraje cu locații la distanța de 1 km, prin care s-a interceptat stratul principal cu grosimi între 3,5 și 6,5 m, situat în cea mai mare parte deasupra nivelului hidrostatic. A fost completată rețeaua cu locații de foraj pînă la distanța de 600 m și parțial pînă la 300 m, în scopul obținerii datelor proiectării exploatării.

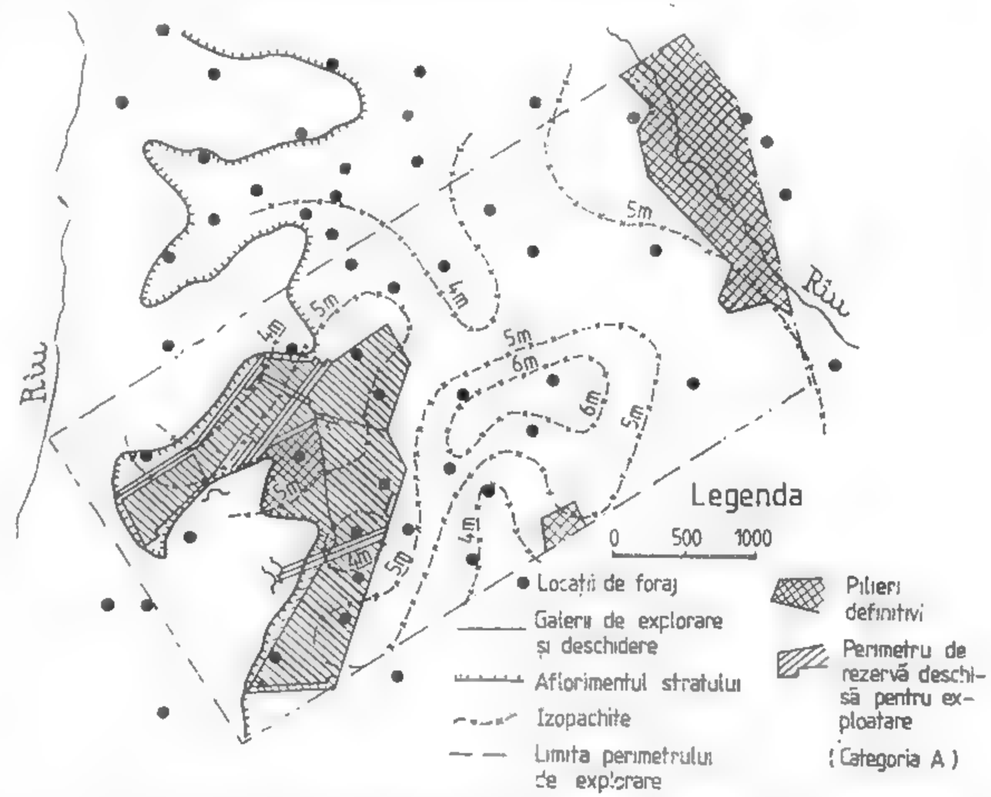


Fig. XI.139. Explorarea unui strat de lignit cuprins într-o formațiune cărbunoasă slab cutată (Pliocen).

Explorarea de detaliu se efectuează prin lucrări miniere cu ajutorul cărora este deschisă rezerva pentru asigurarea exploatării.

Cazu II al unui zăcămînt de huilă în formațiuni cutate și foliate. Într-o formațiune carboniferă cu grosimea de 100—300 m sînt localizate mai multe strate cu grosimi cuprinse între 0,5 și 40 m. Bazinul carbonifer are forma unei cuvete, adîncă de peste 1 000 m, strînsă în formațiunile de fundament care se ridică pe flancuri și interceptată de numeroase falii longitudinale și transversale. În bazin există exploatări de cărbune și foraje de referință și în consecință n-a mai fost necesară explorarea preliminară pentru perimetrul în cauză, care este situat în extinderea celor în exploatare. De aceea s-a trecut la explorarea perimetrului direct în subfaza explorării preliminare principale.

Pentru delimitarea rețelei de foraj a explorării preliminare principale, s-au executat mai multe foraje situate pe un aliniament așezat în lungul bazinului și mai multe foraje izolate. Toate forajele au interceptat stratele de cărbune și au confirmat structura generală de albie cu continuitatea zăcămîntului, dar au pus în evidență existența unor structuri complicate și nu au dat posibilitatea să se coreleze secțiunile.

Pentru clarificarea structurii s-a întocmit o rețea de bază, de explorare prin foraje distribuite uniform în triunghi, la circa 300 m distanță. În felul acesta forajele explorării preliminare principale au permis clarificarea structurii stratelor, astfel încît

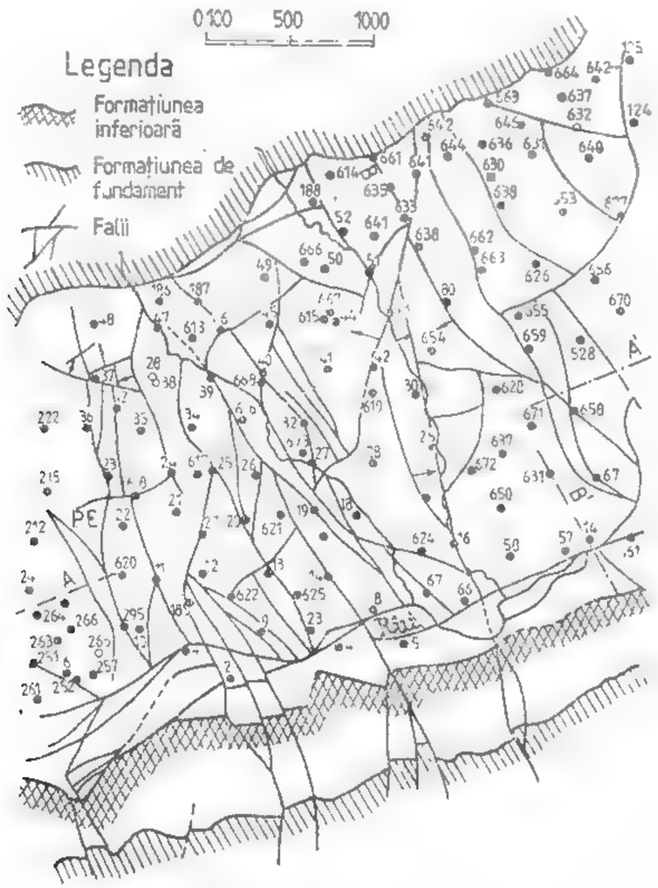


Fig. XI.140. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de huilă cutat și faliat, prin foraje dispuse în rețea.

să se poată trece pe baza lor la explorarea de detaliu și să se poată proiecta rețeaua de lucrări miniere de deschidere a zăcămîntului. În fig. XI.140 sînt indicate limitele geologice principale, faliile și locațiile forajelor care sînt numerotate, precum și două secțiuni prin zăcămînt (fig. XI.141).

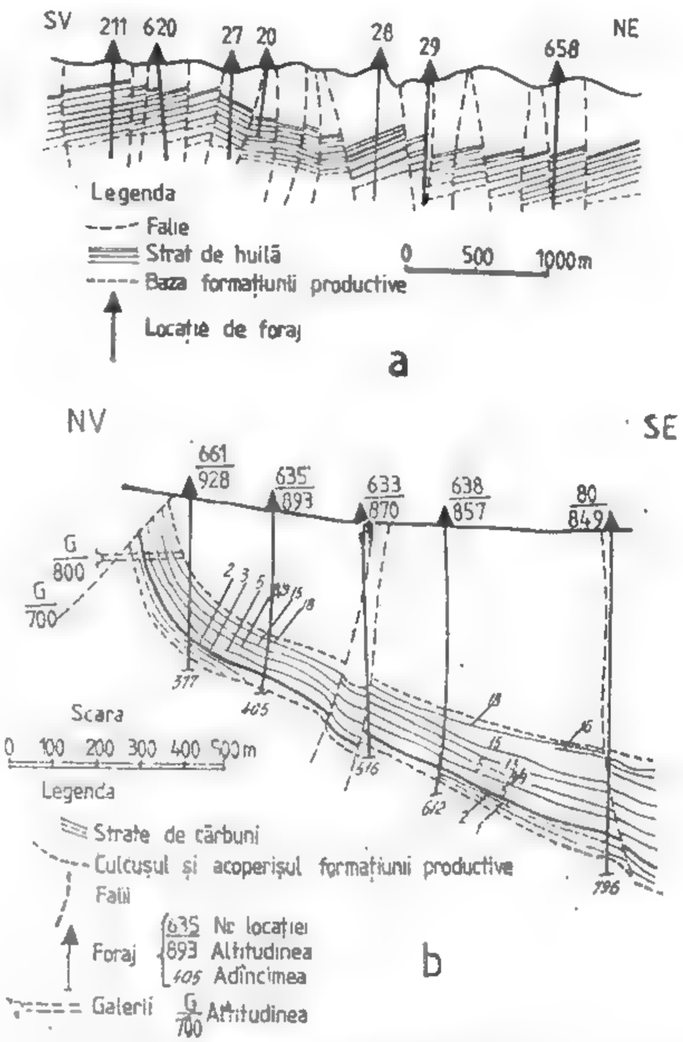


Fig. XI.141. Secțiuni geologice prin zăcămîntul de huilă din fig. XI.140:

a — secțiune longitudinală $A-A'$; *b* — secțiune transversală $B-B'$.

4.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE NEMETALIFERE ȘI DE ROCI UTILE

Substanțele minerale utile nemetalifere cuprind acele substanțe care pot fi valorificate în stare brută sau în urma unei prealabile prelucrări. Domeniile de utilizare a acestora sînt foarte variate: industrie, construcții, agricultură, chimie etc.

Metodologia de explorare are la bază aceleași criterii ca și în cazul zăcămintelor de minereuri, cu unele particularități legate de condițiile de zăcământ ale substanței nemetalifere respective.

După condițiile de zăcământ și posibilitățile de valorificare, zăcămintele de substanțe nemetalifere se clasifică în patru grupe:

— zăcăminte ce apar în corpuri geologice exploatabile pe dimensiuni mari, cum sînt masivele de roci magmatice (granite, andezite, bazalte etc.);

— zăcăminte valorificabile numai parțial, în anumite zone, care au anumite proprietăți fizico-mecanice (calcare, dolomite, nisipuri caolinoase, argile refractare etc.);

— zăcăminte stratiforme interstratificate în alte roci (săruri, gips, barită, talc, azbest, calcit etc.);

— zăcăminte sub formă de cuiburi de diferite dimensiuni, care apar sporadic în masa rocilor comune (diamant, calcedonie, feldspat, mică etc.);

Cu excepția zăcămintelor din ultima grupă, celelalte acumulări devin exploatabile în condițiile explorării la costuri scăzute.

În ceea ce privește explorarea, trebuie aplicate metode puțin costisitoare, prin care se urmărește verificarea ipotezelor asupra extinderii zăcămîntului și stabilirea potențialului acestuia.

Ținînd seama de varietatea mare în care apar substanțele nemetalifere, tratarea sub aspectul explorării este făcută pe clase de substanțe: gips și anhidrit, sare gemă, săruri de potasiu, fosforite, roci carbonatice, silicați aluminoși etc.

4.3.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE GIPS ȘI ANHIDRIT

Gipsul apare sub formă de strate sau lentile cu grosimi variabile, pînă la cîteva zeci de metri. Stratele mai subțiri pot alterna la anumite nivele cu strate subțiri de marne, iar cele cu grosimi mai mari conțin adesea intercalații de marne, argile etc. Sub formă de interstratificații apare adesea în zona inferioară a zăcămintelor de sare. Sub acțiunea presiunii și a căldurii gipsul pierde apa de cristalizare și se transformă în anhidrit, de aceea nu apare la adîncimi mai mari de 200 m.

Depozitele de gips ce aflorează se explorează prin șanțuri și puțuri, iar cele acoperite — prin foraje de mică adîncime.

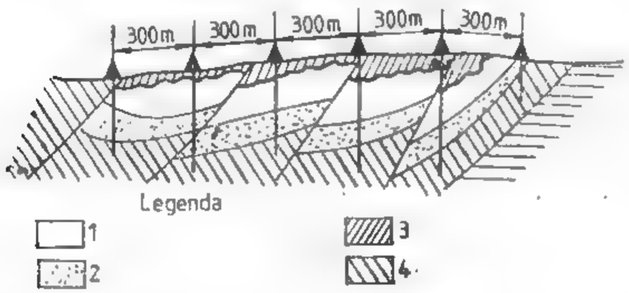


Fig. XI.142. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de gips: *1* — gisp alabastru; *2* — gips impur; *3* — argile descoperite; *4* — marne de culcuș.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală printr-o rețea de foraje dispuse pe aliniamente așezate perpendicular pe direcția zăcămîntului și la distanțe cuprinse între 300 și 1 000 m.

Distanța între forajele aceluiași aliniament variază între 100 și 300 m (fig. XI.142).

Pentru explorarea de detaliu se utilizează rețele cu distanță între foraje de 50 m.

4.3.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SARE GEMĂ ȘI DE SĂRURI DE POTASIU

Depozitele de sare apar sub formă de strate lentiliforme cu dimensiuni mari, corpuri cilindrice verticale diapire, apofize sau corpuri complexe insinuate de fracturi, pungi sau impregnații de sare.

Datorită condițiilor variate în care apar masivele de sare, explorarea preliminară pregătitoare trebuie să clarifice geologia zăcămîntului. Ipotezele asupra formei extinderii și calității zăcămîntului se verifică prin foraje de referință, șanțuri, puțuri și determinări hidrogeochimice, după care se completează și se corelează datele în etapa următoare, a explorării preliminare principale, prin unele lucrări miniere subterane și foraje subterane.

O atenție deosebită trebuie acordată amplasării acestor lucrări de explorare. Se va evita amplasarea la contactul dintre sare și rocile înconjurătoare și, în general, în zonele în care pot avea loc infiltrații de ape superficiale sau pot pătrunde, la masivul de sare, ape din strate acvifere. După verificarea ipotezei asupra distribuției sării și asupra formei zăcămîntului, care se face prin cîteva foraje de referință pînă la 1 000 m, se alege rețeaua de foraje la gabarite de 200 m × 200 m sau de 300 m × 300 m, din care apoi explorarea continuă pe aliniamente perpendiculare pe direcția de extindere a masivului, la distanțe de 900—1 500 m (fig. XI.143).

În cazul exploatării sării prin dizolvare, explorarea se va face în mod exclusiv prin foraje pe aliniamente așezate la distanțe de 600—1 200 m, cu distanța între punctele de pe aliniament de 300—600 m.

Explorarea de detaliu se face prin foraje prin care se exploatează în cele din urmă sarea dizolvată — saramura.

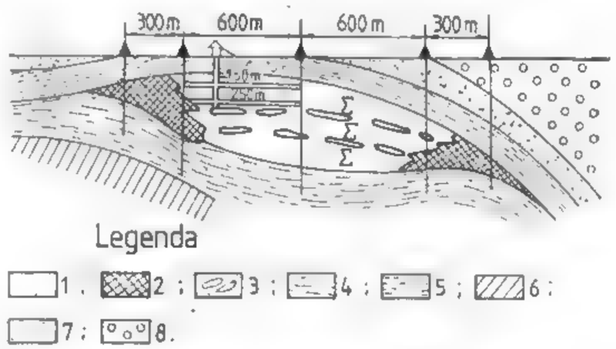


Fig. XI.143. Explorarea preliminară și de detaliu a unui zăcămînt de sare: *1* — sare; *2* — brecia sării; *3* — intercalații marnoase în sare; *4* — marne cu globigerine; *5* — marne tufitice; *6* — gresii marnoase; *7* — gresii marno-calcaroase; *8* — gresii și conglomerate.

Dacă exploatarea se va face prin camere, explorarea preliminară principală se realizează prin foraje de suprafață sau foraje dirijate din lucrări subterane, iar explorarea de detaliu se face numai prin lucrări subterane, completate cu unele foraje dirijate din acestea, la gabarite de 50—100 m.

Sărurile de potasiu apar sub formă de strate alternînd cu depuneri de halit, de gips și în special de săruri de magneziu și de silvină.

Mineralul principal pentru potasiu este silvina (KCl). Se consideră exploatabile stratele cu un conținut de peste 10% K_2O.

Prin explorarea preliminară, ca și în cazul sării geme, trebuie să se clarifice structura zăcămîntului prin corelarea datelor anterioare obținute prin prospecțiune cu cele obținute în explorarea preliminară pregătitoare. În faza următoare a explorării

preliminare principale, o atenție deosebită se acordă structurii porțiunilor din acoperișul corpurilor de sare, întrucît sărurile de potasiu fiind foarte plastice pot suferi deformări importante. Explorarea preliminară principală se face prin lucrări miniere completate cu foraje subterane (fig. XI.144).

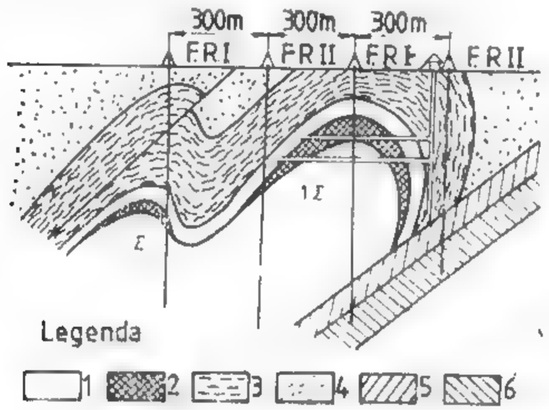


Fig. XI.144. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de săruri de potasiu:
1 — sare, *2* — săruri de potasiu; *3* — marne roșii; *4* — marne grezoase; *5* — șisturi argiloase; *6* — gresii; *FR.I* și *FR.II* foraje de referință în etapele *I* și *II*.

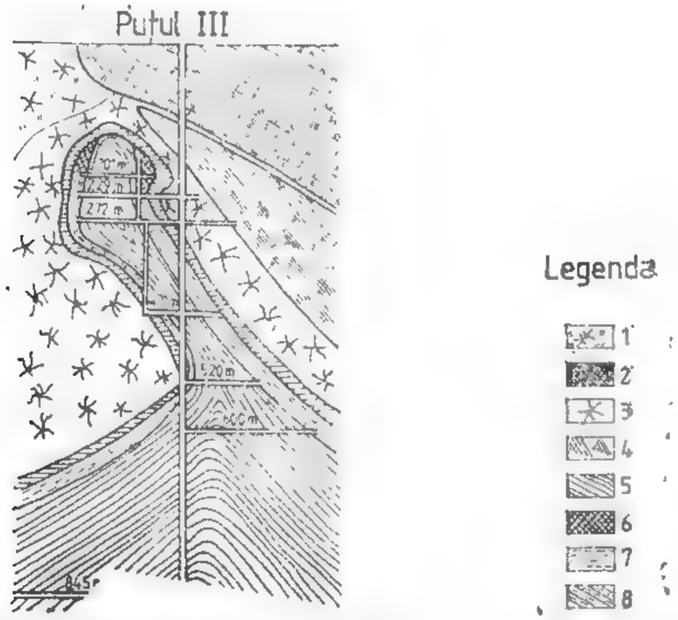


Fig. XI.145. Explorarea de detaliu a unui zăcămînt de săruri de potasiu:
1 — gips; *2* — formațiuni greziase; *3* — anhidrit; *4* — săruri impure; *5* — săruri argiloase; *6* — săruri de potasiu; *7* — săruri de magneziu; *8* — breccia sării.

Explorarea de detaliu se execută pe măsura necesităților, folosind lucrări miniere prin care se urmărește și compartimentarea zăcămîntului în vederea exploatării lui (fig. XI.145).

Probarea zăcămintelor de săruri de potasiu se face prin brazde în lucrările subterane care traversează zăcămîntul sau din carotele obținute din foraje.

4.3.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FOSFORITE

Sub denumirea de *folosfoite* sînt cuprinse acumulările de roci bogate în fosfor. În marea lor majoritate aceste roci sînt sedimentare, mai mult sau mai puțin metamorfozate. Anumite pegmatite conțin fosfor cînd sînt bogate în apatite.

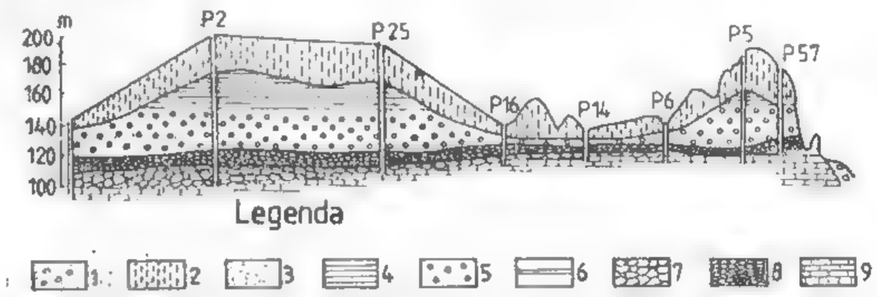


Fig. XI.146. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de fosforit prin puțuri:
1 — aluminiu; *2* — argile; *3* — nisipuri cuarțoase; *4* — nisipuri argiloase; *5* — nisipuri; *5* — fosfați; *7* — nisipuri conglomerate; *8* — argile și silexuri; *9* — calcare cretoase.

Mineralele comune cuprinse în fosforite sînt apatitele (fluorapatitul, clorapatitul, hidroxilapatitul și carbonatapatitul), cuprinzînd trifosfatul de calciu și alți compuși ai calciului. În fosforitele sedimentare, fosforul apare sub formă de collofan — un gel de feldspat de calciu.

În general, depozitele fosforitice se caracterizează prin grosimi variabile și discontinuitate în cadrul aceloraşi formațiuni sau strate.

Explorarea preliminară se face prin foraje sau puțuri, pentru conturarea blocurilor geologice sau a zonelor mineralizate (fig. XI.146). Pe baza datelor obținute se continuă explorarea preliminară principală, pentru conturarea pe direcție, prin lucrări miniere, a blocurilor mineralizate. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere, prin care se urmărește deschiderea și compartimentarea (pregătirea) zăcămîntului pentru exploatare.

Probarea zăcămîntului se face prin brazde, la distanțe de 5—10 m, în galeriile care urmăresc zăcămîntul, și în galerii transversale sau breșe în cazul grosimilor mari.

4.3.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CALCITĂ, CELESTINĂ, BARITINĂ ȘI FLUORINĂ

Calcita apare în natură sub formă de filoane, lentile sau corpuri neregulate de origine hidrotermală. Are utilizări restrînse, fiind folosită în special ca material piezooptic pentru aparate de laborator.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin dezveliri și șanțuri în terenurile acoperitoare, iar explorarea preliminară principală prin foraje de mică adîncime (pînă a maximum 100 m adîncime), așezate la distanțe de 25—100 m, pentru stabilirea formei, extinderii și constituției zăcămîntului.

Explorarea de detaliu se face cu galerii sau puțuri de explorare amplasate în rocile înconjurătoare, din care apoi se continuă explorarea zăcămîntului prin foraje dirijate și galerii pînă la contactul cu corpurile de calcită.

Celestina apare sub formă de strate, însoțind uneori depozite de gipsuri. Este singura sursă industrială pentru extragerea stronțiului. Zăcămintele de celestină sînt bine dezvoltate cînd deasupra gipsului se găsesc calcare organogene. În explorarea preliminară pregătitoare se execută foraje de referință pentru cercetarea contactelor zăcămintelor de gips sau a unor acumulări de gips, după care se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări miniere amplasate la distanță de 200 m.

Explorarea de detaliu se execută numai prin lucrări miniere prin care se urmărește și deschiderea și pregătirea zăcămîntului.

Baritina apare sub formă de filoane și corpuri lenticulare de origine hidrotermală, în calcare și roci eruptive.

Explorarea zăcămintelor de baritină se face după aceeași metodică aplicată la zăcămintele de minereuri.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește delimitarea zonei de extindere a baritinei și stabilirea ipotezei asupra formei și constituției zăcămîntului, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară principală se execută cu lucrări miniere (galerii direcționale, breșe etc.) și foraje dirijate.

Explorarea de detaliu se face pe baza studiului tehnico-economic, urmărindu-se concomitent deschiderea și pregătirea zăcămîntului.

Fluorina apare frecvent în ganga zăcămintelor hidrotermale de plumb și zinc, cupru etc., formate la diverse temperaturi, de la hipo la epitermale, împreună cu cuarțul, baritina, calcita și siderita.

Explorarea se face după aceleași criterii ca și în cazul explorării zăcămintelor filoniene de minereuri.

4.3.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FELDSPAT, MICĂ ȘI CUARȚ

Feldspatul, mica și cuarțul au numeroase utilizări în industrie. Feldspatul este folosit în special în ceramică, pentru glazura porțelanurilor etc., mica se utilizează ca izolator în industria electrotehnică și în construcția unor mașini și utilaje, iar cuarțul este utilizat ca material piezooptic.

Feldpsatul, mica și o mare parte din cuarțul piezooptic se găsesc în pegmatitele granitice.

Explorarea pegmatitelor pentru feldspat, mică și cuarț este dificilă, deoarece acestea apar sub formă de corpuri de dimensiuni mici și cu forme foarte complicate, răspîndite pe o suprafață mare și avînd o constituție capricioasă.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește în primul rînd nivelul la care se găsesc corpurile pegmatitice și sorturile substanțelor nemetalifere. Se efectuează prin puțuri, galerii de coastă și prin foraje de referință de mică adîncime, pentru clarificarea ipotezei asupra extinderii și distribuției corpurilor pegmatitice în zona cercetată.

Explorarea preliminară principală se continuă prin galerii de coastă, breșe și foraje dirijate, pentru delimitarea corpurilor de pegmatit, compoziției lor pe sorturi și extinderii acestora.

La explorarea de detaliu este indicat să fie cercetate simultan mai multe corpuri.

4.3.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SERPENTINĂ, TALC ȘI MAGNEZIT

Serpentina pură este formată din MgO (43%), SiO_2 (44,1%) și H_2O (12,9%). Printr-un metamorfism hidrotermal mai avansat sau în legătură cu acțiunea de silicifiere și a bioxidului de carbon rezultă talcul (31,7% MgO, 63,5% SiO_2 și 4,8% H_2O) și magnezitul (47,6% MgO și 52,41% CO_2).

Zăcămintele de serpentină, talc și magnezit au de cele mai multe ori structuri complexe, apărînd sub formă de filoane, lentile, coșuri, strate etc., de diferite sorturi. De aceea și explorarea lor este foarte complicată. În explorarea preliminară pregătitoare se urmărește studiul structurii și metamorfismului, precum și evoluția magmatismului, ținînd seama și de rocile învecinate. Prin lucrările de referință formate din șanțuri, puțuri, galerii de coastă și foraje se clarifică ipoteza formei zăcămîntului și distribuției mineralizației. În explorarea preliminară principală se urmărește extinderea mineralizației și precizarea caracterului acesteia, printr-un program corespunzător de lucrări miniere sau combinate. În corpurile mari de serpentine se pot aplica gabarite între 300 și 1 000 m, iar pentru corpurile mici gabarite între 50 și 300 m (fig. XI.147).

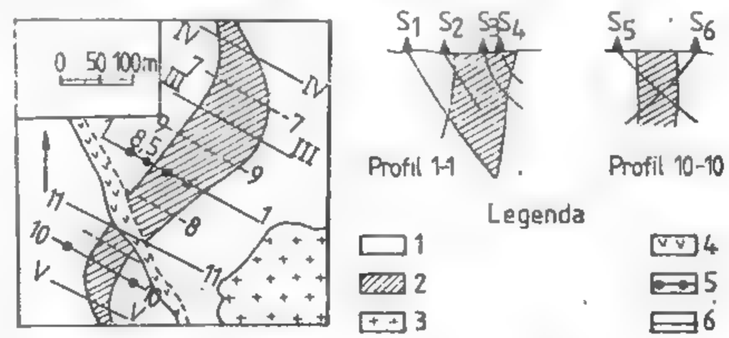


Fig. XI.147. Explorarea unui zăcămînt de talc:

1 — roci carbonatice; *2* — roci talcomagneziene; *3* — granite; *4* — porfire; *5* — aliniamente de foraje; *6* — aliniamente de lucrări de explorare (șanțuri, puțuri de mină și foraje).

Pentru serpentinele ce se exploatează prin lucrări la zi, explorarea se face prin foraje și numai talcul și magnezitul se explorează prin lucrări miniere. În cazul zăcămintelor de serpentine extinse în adîncime, explorarea se face prin galerii de coastă și lucrări miniere combinate.

Explorarea de detaliu se face de obicei concomitent cu exploatarea, pe baza studiilor tehnico-economice și de sistematizare a exploatării.

4.3.7. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE DISTEN, ANDALUZIT ȘI SILLIMANIT

Aceste minerale sînt metasilicați de aluminiu și au aceeași compoziție chimică: 63,1% Al_2O_3 și 36,9% SiO_2.

Distenul apare în roci metamorfice bogate în aluminiu, de regulă în zona de trecere de la gnaise la micașisturi cu conținuturi de 3—15% disten; alteori apare sub formă de cuiburi sau agregate de cristale.

Andaluzitul apare la contactul granitelor cu roci metamorfice și în cuarțite, în vecinătatea corindonului. Conținutul de andaluzit în cuarțite este în jur de 18%.

Sillimanitul apare în zona de contact a unor granite cu turmalină, sub formă de lentile sau cuiburi cu conținut pînă la 85%.

În explorarea preliminară pentru **disten** se urmărește conturarea zonelor sau a corpurilor cu conținut de disten, andaluzit și sillimanit. În explorarea preliminară pregătitoare se completează documentația obținută prin cartare și prospecțiune, utilizînd foraje de referință pentru cercetarea adîncimii gnaiselor și variației grosimii micașisturilor cu disten. Dacă relieful este accidentat se urmărește variația conținutului de disten prin galerii de coastă.

Explorarea preliminară principală se efectuează printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 200 pînă la 1 000 m, cu distanța între aliniamente aleasă după condițiile de teren. Concomitent cu forajele se vor executa galerii de coastă pentru urmărirea conținutului mediu de disten și variației între conținuturile maxime și minime.

Explorarea de detaliu se face concomitent cu exploatarea și trebuie să asigure un volum de rezerve pentru 3—4 ani. Dacă exploatarea se face în carieră, prin explorarea de detaliu se precizează și forma și volumul descopertei, pentru care se execută foraje în rețea la distanțe de 50—200 m.

Zăcămintele de **andaluzit** se explorează în același mod, căutînd să se delimiteze zonele cu conținut mai ridicat față de zonele cu conținut mediu normal.

Această delimitare se face în faza explorării preliminare principale, săpînd galerii direcționale și breșe la distanțe de 25—100 m. Explorarea de detaliu urmărește odată cu obiectivul geologic și deschiderea și pregătirea zăcămîntului.

Zăcămintele de **sillimanit** apar sub formă de corpuri și lentile. În explorarea preliminară pregătitoare se urmăresc contactele rocilor granitice și zonele de mineralizare, utilizînd foraje de referință și eventual galerii de coastă.

4.3.8. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AZBEST ȘI CORINDON

Explorarea zăcămintelor de **azbest** este dificilă. În explorarea preliminară se urmăresc serpentinele și se delimitează diferitele sorturi de serpentine, cu metamorfismul, alterația și accidentele suferite.

Se urmăresc, de asemenea, pegmatitele și în special filoanele de pegmatit sau cuarț care au legătură cu serpentinele.

Zonele cu azbest au forme lenticulare sau ramificate. Explorarea preliminară se face cu lucrări miniere (puțuri de mînă, galerii de coastă, breșe) și foraje scurte, la diferite nivele, cu distanțe de maximum 50 m (fig. XI.148) pe verticală și 50—200 m pe orizontală.

Corindonul este oxid de aluminiu cristalizat. Apare în roci metamorfice, în zonele de contact cu unele corpuri magmatice.

Zăcămintele de corindon apar sub formă de cuiburi lentiliforme. Explorarea se face după aceleași criterii aplicate, în general, în cercetarea substanțelor ce apar sub formă de corpuri mici sau agregate de cristale de valoare mare.

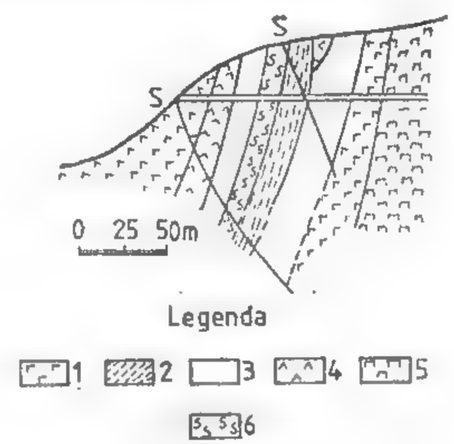


Fig. XI.148. Explorarea unui zăcămînt de azbest prin foraje și galerii:
1 — serpentine; *2* — serpentine mineralizate; *3* — serpentine cu carbonați și talc; *4* — dunite; *5* — peridotite.

Explorarea se începe cu lucrări de suprafață pe baza cărora se execută foraje de referință sau lucrări miniere pentru cercetarea contactelor corpurilor magmatice, a distribuției diferitelor zone de metamorfism, a structurii lor, a fracturilor și aureolelor cu corindon.

4.3.9. EXPLORAREA ROCILOR CARBONATICE (CALCARE, DOLOMITE, MAGNEZITE)

Prin roci carbonatice se înțeleg acele roci care conțin peste 80% carbonați. În constituția lor mineralogică, pe lîngă constituenții principali, care sînt carbonatul de calciu și de magneziu, mai conțin carbonați de Fe, Mn, Sr, Ba, Zn etc. Aceste roci au numeroase utilizări în industrie, după proprietățile lor fizico-mecanice și chimice.

Pentru extragerea calcarului din masivele calcaroase, în condiții economice și de calitate corespunzătoare domeniului respectiv de utilizare, este necesar ca aceste zăcăminte să fie explorate pentru a se pune în evidență potențialul cantitativ și calitativ pe sorturi. O atenție în explorare trebuie să se acorde atît descopertei cît și deșeurilor calcaroase, în special sub aspectul posibilităților de folosire în diferite domenii (fabricarea cărămizilor, mozaic, ciment, refacerea solurilor etc.).

În explorarea preliminară, subfaza pregătitoare, se urmărește conturarea masivului de calcare, folosind ca lucrări de explorare șanțuri, puțuri de mînă, foraje. Pentru materialele de construcții este necesar să se facă și un studiu structural. Pentru determinarea succesiunii formațiunilor, intruziunilor, intercalațiilor etc., se execută foraje de referință sau galerii.

În explorarea preliminară se verifică ipoteza asupra extinderii și delimitării masivului calcaros, printr-o rețea de foraje la distanța de 200—1 000 m, însoțite de galerii de coastă în cazul unui relief pronunțat. Aliniamentele se orientează perpendicular pe direcția de extindere a masivului (fig. XI.149).

Explorarea de detaliu se face printr-o rețea de foraje sau galerii săpate la distanțe de 50—300 m, executîndu-se și lucrările de descopertare.

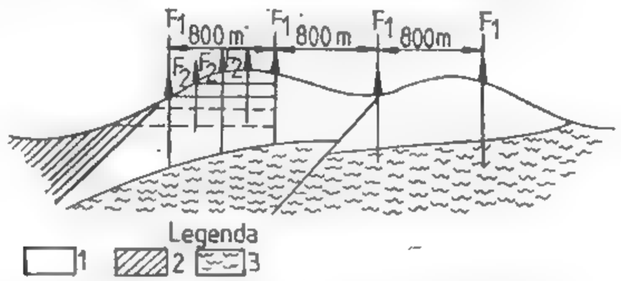


Fig. XI.149. Explorarea preliminară a unui masiv de calcar:

1 — calcar; *2* — șisturi de acoperiș; *3* — șisturi de culcuș; *F1—F2* — foraje de explorare în etapele *1* și *2*.

În explorarea calcarelor și dolomitelor prin foraje, o atenție deosebită trebuie acordată tehnologiei de foraj, ținînd seama de accidentele ce pot surveni ca urmare a fisurării, golurilor carstice etc.

4.3.10. EXPLORAREA SILICAȚILOR ALUMINOȘI

Sub denumirea de silicați aluminoși se cuprind silicații de aluminiu hidratați, cu impurități mai mari sau mai mici. Cînd conțin oxizi de fier sau au în amestec diferite minerale de siliciu, mică etc., se numesc *argile*.

După domeniile de utilizare se deosebesc șapte sorturi principale de silicați aluminoși: *argilă refractară, argilă caolinoasă, nisipuri caolinoase, bentonite și vermiculite, argile pentru fluid de foraj, roci argiloase de cărămidărie și caolinuri.*

Zăcămintele de silicați aluminoși se stabilesc după criteriile de utilizare a acestora.

Explorarea trebuie să se limiteze la delimitarea strictă a sectoarelor corespunzătoare sortului respectiv în care urmează să se facă exploatarea. Din punct de vedere economic prezintă importanță zăcămintele sau zonele ușor accesibile, cu roci acoperitoare subțiri, cu condiții de exploatare la zi și condiții ușoare de haldare.

Explorarea preliminară pregătitoare, prin datele obținute, trebuie să completeze datele prospecțiunii, în scopul stabilirii calităților tehnologice ale silicaților aluminoși să delimiteze sorturile pe baza cercetărilor de laborator și chiar a probelor tehnologice. În acest scop explorarea preliminară pregătitoare se va face prin lucrări ușoare de suprafață, șanțuri, puțuri de mină, foraje scurte și chiar foraje de referință, pentru lămurirea genezei și extinderii sorturilor.

Explorarea preliminară principală are sarcina, în primul rînd, de a stabili extinderea sorturilor în zăcămînt și variația calității acestora, astfel încît să se poată determina prin calculele tehnico-economice: dinamica producției, dezvoltarea exploatării și condițiile economice de exploatare. În acest scop se folosesc rețele geometrice cu liniile orientate perpendicular pe direcția de extindere a zăcămîntului sau pe direcția

liniilor de nivel a reliefului, cu gabarite ce variază de la 200 la 1 000 m sau mai mici, în zonele cu variații mari ale grosimilor și conținuturilor.

În mod practic se execută la început explorarea pe două alinieme în cruce, la gabarit de 200—400 m, pentru stabilirea parametrilor principali ai zăcămîntului.

Ca lucrări pentru zăcămintele stratiforme se utilizează forajele ușoare executate cu sondeze.

Explorarea de detaliu se execută pentru a stabili gradul de asigurare cu rezerve, pe măsura exploatării, la capacitățile stabilite prin proiectul de sistematizare al exploatării. În explorarea de detaliu se utilizează gabarite corespunzătoare programării descopertei și întocmirii preliminărilor anuale de producție, de obicei cuprinse între 100 și 300 m.

Pentru acest tip de substanțe, explorarea se face în general cu lucrări ușoare și cu volume mici, astfel încît costul lor să nu depășească cîteva procente din valoarea substanței minerale, fără să depășească 10%.

4.3.11. EXPLORAREA MARNELOR

Rocile omogene compacte și cu granulație fină, formate din substanță argiloasă și carbonat de calciu în conținuturi cuprinse între 30 și 70% se numesc *marne*.

În explorare se urmărește extinderea stratelor de marne, de delimitare în cuprinsul lor a eventualelor zone silicifiate, intercalațiilor sterile etc. Prin explorarea preliminară pregătitoare se determină conturul zonei ce urmează să fie explorată în continuare, se stabilește distribuția conținutului substanței, caracteristicile stratelor acoperitoare și se va formula ipoteza asupra extinderii zăcămîntului.

Explorarea preliminară principală va verifica, prin lucrările corespunzătoare, ipoteza asupra structurii generale și asupra formei zăcămîntului pentru perimetrul prospectat și eventualele sorturi. Ea se efectuează printr-o rețea de foraje la distanțe de 300 pînă la 1 500 m. După configurația terenului, forajele se înlocuiesc cu galerii de coastă și suitori.

Explorarea de detaliu se continuă în zonele prevăzute a intra în exploatare. Prin lucrările din această etapă se delimitează blocurile de exploatare, zona de descopertare, sorturile de marne și zonele sterile, în vederea întocmirii preliminarelor de producție. În acest scop se execută, de obicei, foraje în rețea, la gabarite cuprinse între 100 și 500 m.

4.3.12. EXPLORAREA ROCILOR SILICIOASE

Sub această denumire sînt cuprinse rocile cu conținut foarte ridicat de silice (peste 90% SiO_2).

Din punctul de vedere al explorării, rocile silicioase se clasifică în trei clase:

— roci silicioase sedimentare detritice (nisipuri, gresii, pietrișuri etc.);
— roci silicioase organogene (diatomite, radiolaritate etc.);
— roci silicioase metamorfice și hidrotermale (cuarțite, calcedonie, opal etc.).

Prin lucrările de explorare se urmărește extinderea zonelor exploatabile și calitatea rocilor respective.

Ca lucrări de explorare preliminară pregătitoare se execută șanțuri, puțuri de mînă, foraje manuale, foraje cu sondeze autopurtate și mai rar lucrări miniere grele. Explorarea preliminară trebuie să aibă în vedere obținerea datelor necesare întocmirii studiului tehnico-economic de etapă și proiectului general de sistematizare. Ea se execută în rețea de foraje la gabarite de 300 și 1 000 m sau mai mici pentru zonele cu accidente structurale, variații de conținut etc.

Explorarea de detaliu se efectuează în sectoarele prevăzute pentru exploatare, în vederea asigurării cu rezerve pe 3—5 ani. Ca lucrări se aplică forajele și lucrările miniere sau lucrări combinate.

Probarea se face prin brazde în lucrările miniere și prin carotaj în foraje.

Cuarțitele fac parte din clasa a 3-a a rocilor silicioase metamorfice și se caracterizează prin conținutul lor ridicat în cuarț (de peste 95%) și conținuturi scăzute de Fe_2O_3 (sub 1,5—2%), Al_2O_3 (sub 2%) și CaO (sub 1,5%).

Pentru stabilirea extinderii zăcămîntului și a sorturilor se execută lucrări de referință — foraje sau lucrări miniere (galerii de coastă, foraje dirijate subterane). Gabaritele indicate sînt de la 200 pînă la 800 m.

Explorarea de detaliu se face în scopul asigurării cu rezerve pe o durată de obicei de 2—3 ani. În această etapă se folosesc gabarite de 50—500 m.

4.3.13. EXPLORAREA NISIPURILOR ȘI PIETRIȘURILOR (AGREGATELOR)

Sub denumirea de agregate sînt cuprinse nisipurile și pietrișurile folosite la prepararea betoanelor și mortarelor.

Se deosebesc zăcăminte aluvionare, care se exploatează sub nivelul apei, și zăcăminte din depozite situate deasupra nivelului apei.

Explorarea lor preliminară pregătitoare se face cu unul sau două foraje de referință, în scopul de a stabili succesiunea sedimentației și patul aluviunii sau depozitului de agregate. În continuare, pentru valorificarea ipotezei asupra formei și calității substanței, se execută explorarea preliminară principală cu foraje la distanțe de 200—500 m, pe aliniamente perpendiculare pe direcția extinderii zăcămîntului, așezate la distanțe de la 500 pînă la 2 000 m. Forajele nu trebuie să depășească patul depozitelor agregate și cel puțin 2/3 din ele nu vor depăși cu mai mult de 1 m nivelul de exploatare.

Pentru zăcămintele aflate deasupra nivelului hidrostatic, în locul forajelor se execută puțuri susținute și bandajate.

Explorarea preliminară principală urmărește obținerea elementelor pe baza cărora să se poată determina rezistența și consistența agregatului uscat, ud și sub apă și posibilitățile de curgere, elemente care stau la baza proiectării exploatării.

Explorarea de detaliu se execută, pentru perimetrul stabilit a intra în exploatare, prin foraje sau puțuri la distanțe de la 200 pînă la 500 m și cu adîncimi corespunzătoare pentru determinarea grosimii descopertei și a stratului exploatabil.

4.3.14. EXPLORAREA ROCILOR DE CONSTRUCȚII

Din această categorie fac parte rocile tari, rezistente la solicitări, alterație, eroziune și pretabile la fasonări.

Acestea se clasifică în:

— roci de calitate superioară, utilizate la învelișuri, ornamente etc.;

— roci de calitate medie, care se modelează grosolan și au o rezistență mare;

— roci utilizate sub formă de sfărîmături, ca materiale de umplutură.

Zăcămintele identificate pe baza cartărilor și a prospecțiunilor se explorează în continuare. În explorarea preliminară pregătitoare se efectuează dezveliri, lucrări de foraje și galerii de referință pentru clarificarea extinderii, constituției sorturilor de rocă, procentului diferitelor sorturi și se determină parametrii calității prin probări tehnologice de laborator.

Explorarea preliminară principală se execută printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 300 pînă la 1 500 m, pentru precizarea extinderii zăcămîntului și a sorturilor pe care le conține, precum și a variației parametrilor calitativi, elementelor de microtehtonică și variației clivajelor naturale. Pe baza acestor elemente se întocmește studiul tehnico-economic de etapă și proiectarea exploatării.

Explorarea de detaliu se efectuează în zonele stabilite pentru exploatare, utilizînd foraje și mai rar lucrări miniere. Prin explorarea de detaliu se stabilește volumul necesar de descopertat sau de derocări pentru înlăturarea zonelor alterate și a sterilului.

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Ing. FILOMENOS SAVIN
Ing. VIOREL BRÂNDA

Explorarea substanței minerale utile permite de cele mai multe ori accesul în zăcămînt, oferind atît posibilitatea efectnării de observații directe asupra caracteristicilor corpului, cît și posibilitatea recoltării de probe în vederea determinării caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice ale componenților valorificării. Probarea este o operație foarte importantă în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe minerale utile, oferindu-ne totodată posibilitatea dirijării cît mai corecte și mai eficiente a lucrărilor de cercetare geologică și chiar a exploatării.

Probarea, ca parte importantă a cercetării geologice, furnizează o serie de informații, cum ar fi:

— delimitarea zonelor cu mineralizație bogată;

— delimitarea conturului industrial;

— delimitarea diferitelor sorturi de minereu;

— determinarea conținuturilor în componenți utili principali și accesorii valorificabili și a componenților dăunători, în vederea stabilirii condițiilor de valorificare a minereului;

— pentru proiectarea exploatării (mai precis pentru determinarea condițiilor industriale) se poate cunoaște, cu o anumită precizie, comportarea substanțelor minerale utile în diferite faze tehnologice de valorificare etc.

Ca urmare a creșterii necesarului de materii prime minerale din producția internă și a reducerii importului, în etapa actuală trebuie acordată o foarte mare importanță problemei determinării calității substanței minerale utile, problemă care își are rezolvarea în mare parte printr-o probare cît mai corectă și mai sistematică.

1. PRINCIPII DE BAZĂ

1.1. CONDIȚIILE UNEI PROBĂRI CORECTE A ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Probarea, ca parte integrantă a tuturor etapelor de cercetare geologică, cuprinde o serie de faze, cum ar fi:

— recoltarea probelor (prelevarea unei cantități de substanță minerală utilă, care să caracterizeze întreaga cantitate de substanță minerală din care a fost extrasă);

— prelucrarea probelor în funcție de obiectivul urmărit;

— determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice a materialului probă prelucrat;

— prelucrarea informațiilor obținute în vederea determinării parametrilor de decizie asupra zăcămîntului.

În activitatea practică toate fazele menționate mai sus au o deosebită importanță, orice greșeală comisă avînd implicații negative, uneori cu consecințe economice grave, pe tot parcursul cercetării și implicit al valorificării. Pentru evitarea comiterii erorilor, sarcina specialistului este de a veghea în mod direct sau indirect, întreg procesul de probare, respectîndu-se cu strictețe o serie ed condiții privind metodica prelevării probelor, obținerea rezultatelor și interpretarea lor.

1.1.1. OBIECTIVITATEA ȘI REPREZENTATIVITATEA PROBĂRII

Obiectivitatea și reprezentativitatea probării sînt două condiții inseparabile deoarece o probă dacă nu a fost prelevată obiectiv nu poate fi reprezentativă.

Așadar, obiectivitatea trebuie avută în vedere în toate etapele probării, astfel:

a) În etapa de prelevate trebuie acordată mare atenție în ce privește:

— metodica de probare, care trebuie să fie aleasă în funcție de tipul de zăcămînt și al metodicii de explorare (și nu în mod arbitrar);

— desimea de probare;

— mărimea excavațiilor;

— evitarea contaminării materialului probă (pregătirea locului, captarea materialului excavat, ambalarea materialului, transportul probelor etc.);

— controlul probării, care trebuie făcut periodic și cu maximum de atenție.

b) În cazul prelucrării probelor (a doua etapă a probării) trebuie respectate cele patru operații (sfărîmarea, măcinarea, omogenizarea și reducerea materialului probă).

c) Pentru determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice trebuie utilizată aparatura de cea mai bună calitate, făcută curățirea aparaturii după fiecare probă și folosit personal cu cea mai înaltă specializare și conștiință profesională.

d) În cazul prelucrării informațiilor obținute trebuie utilizate mai multe metode, verificîndu-se în acest mod rezultatele și depistarea eventualelor erori comise.

În concluzie, pentru respectarea obiectivității probării trebuie avută o mare atenție, depistîndu-se la timp toate erorile, indiferent de mărime și trecîndu-se la eliminarea lor.

Reprezentativitatea probării presupune păstrarea proporțiri între mineralele care formează probă și mineralele din zona probată sau din zona de influență a lucrării de cercetare. Problema păstrării reprezentativității se pare simplă în cazul zăcămintelor cu un grad mare de uniformitate a componenților utili, dar ea trebuie rezolvată și pentru zăcămintele cu grad mic de uniformitate sau foarte neuniforme, deci, cu alte cuvinte, în asemenea situații trebuie rezolvate două probleme princiaple: 1) *distanța optimă între probe și* 2) *greutatea optimă a probei.*

Din practică rezultă că probarea este cu atît mai reprezentativă cu cît intervalul dintre probe est$_0$emai mic (Albov M. H., 1965), dar acest interval nu se poate micșora foarte mult din cauza economicității și a posibilității de probare (lucrare minieră sau foraj). Totuși problema pare a fi rezolvată, luîndu-se înconsiderare eroarea admisă de practică pentru diferite clase de zăcăminte.

În ce privește greutatea optimă a probei, trebuie avut în vedere faptul că, ori de cîte ori avem de-a face cu mineralizații variabile în componenți utili, este necesar să se determine experimental cantitatea optimă de material probă, în așa fel încît să nu se depășească erorile admise de fiecare clasă de zăcăminte.

O situație aparte apare în cazul zăcămintelor fără o limită netă între roca mineralizată și roca înconjurătoare, situație în care reprezentativitatea este respectată prin calcularea conținutului limită de conturare, conținutului mediu minim și conținutului mediu pe bloc marginal.

În concluze, trebuie acordată o foarte mare atenție reprezentativității probei, avîndu-se în vedere următoarele: 1) cantitatea care reprezintă mineralizația este foarte mică în comparație cu masa mare a corpului; 2) rezultatele probării se iau în considerare în vederea luării unor decizii privind valorificarea zăcămîntului.

1.1.2. OPERATIVITATEA ȘI PRODUCTIVITATEA PROBĂRII

Operativitatea și productivitatea probării reprezintă o condiție care trebuie avută în vedere în toate etapele cercetării geologice și mai ales în cazul explorării, deoarece explorarea presupune un număr mare de utilaje și un mare efort financiar. Astfel, operativitatea permite continuarea sau sistarea unor lucrări în etapa de explorare preliminară sau luarea în timp util a unor decizii de a se trece la întocmirea proiectelor de exploatare (în etapa de detaliu), ba mai mult, în cazul zăcămintelor diseminate operativitatea analizelor de laborator conduce la delimitarea resurselor valorificabile la un moment dat.

Productivitatea ridicată rezultă atît printr-o operativitate mare cît și prin folosirea unei metode cît mai productive în cazul aceluiași tip de zăcămînt (așa de exemplu, probarea prin găuri de mină sau prin carotaj mecanic influențează productivitatea procesului de probare), alături de organizarea cît mai bună a procesului tehnologic de prelucrare a probelor, alegerea aparaturii corespunzătoare și folosirea unui personal cu înaltă calificare.

Operativitatea și productivitatea probării influențează în mod direct eficiența economică a explorării în general și a probării în special, iar obiectivitatea și reprezentativitatea influențează în mod direct, conducînd astfel la obținerea unei informații cît mai apropiate de realitate, deci, implicit, luarea unor decizii cît mai sigure de realizare a unei eficiențe cît mai mari a cercetării geologice și la sporirea necesarului de materii prime minerale pe economie.

2. TIPURILE PRINCIPALE DE PROBARE UTILIZATE ÎN LUCRĂRILE DE EXPLORARE

Lucrările de explorare ne permit accesul în mod direct la zăcămînt (sub baza de eroziune), oferind posibilitatea aplicării unui număr cît mai mare de tipuri de probare, iar alegerea unuia sau a altui tip de probare este în funcție de condițiile concrete existente la un moment dat.

2.1. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR MINERALOGICE (PROBAREA MINERALOGICĂ)

Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice se aplică în toate etapele explorării geologice, dar cu precădere în explorarea preliminară, urmărindu-se în principal următoarele aspecte:

— stabilirea compoziției mineralogice;

— repartiția spațială în cadrul corpului de substanță minerală utilă a componenților mineralogici;

— determinarea compoziției mineralogice cantitative a substanței minerale utile, și apoi determinarea compoziției chimice, lucru care oferă posibilitatea, în unele situații, să se renunțe la probarea chimică;

— stabilirea proprietăților fizice ale mineralelor (duritate, clivaj, friabilitate, proprietăți magnetice, conductibilitate electrică etc.);

— determinarea unor caracteristici necesare stabilirii fluxului tehnologic (grad de concreștere a mineralelor, mărimea granulelor minerale, legătura între mineralele principale și mineralele accesorii etc);

— stabilirea unor parageneze care pot face obiectul unei exploatări separate (selective);

— stabilirea unor zone sterile sau chiar stabilirea limitei industriale a corpului de substanțe minerale utile etc.

Probarea mineralogică se poate aplica pentru toate tipurile de lucrări miniere.

Din cadrul metodelor de probare mineralogică cele mai utilizate sînt: *metoda eșantionării, metoda sorturilor de minerau și metoda bazată pe separări gravitaționale.*

Metoda eșantionării se aplică în cazul zăcămintelor de formă tabulară consolidate și constă în prelevarea de eșantioane (probe) de dimensiuni mici (de pînă la 3—4 dm), după direcția de măsurare a grosimii normale a corpului mineralizat în lucrarea de explorare, fiecare eșantion reprezentînd o probă (elementară) care urmează să fie studiată separat.

Studierea eșantioanelor se face pe baza proprietăților fizice și optice a mineralelor componente, iar studiul acestor proprietăți conduce în final la indicații prețioase cu privire la posibilitățile de valorificare a substanțelor minerale utile.

Caracteristicile calitative (conținutul în componenți mineralogici) se determină cu lupa binoculară sau cu microscopul, urmărindu-se mai multe etape, după cum urmează:

— realizarea unei suprafețe lustruite pe partea reprezentativă a eșantionului, suprafață care trebuie să cuprindă variația maximă a componenților mineralogici;

— pe suprafața lustruită astfel obținută se așază o sticlă gravată în pătrățele de 25 mm² (sticla avînd formă dreptunghiulară);

— cu ajutorul acestei sticle, sub lupa binoculară (care mărește de 8—10 ori) se planimetrează suprafața (s_i) ocupată de fiecare mineral pe toată suprafața eșantionului;

— se consideră că mineralele din cadrul eșantionului se extind pe aceeași grosime și cu densitatea δ_i;

— în continuare se determină conținuturile mineralogice (c_j) pentru fiecare tip de mineral j, aplicînd succesiv relația:

$$c_j = \frac{s_j \delta_j}{\sum_{1}^{n} s_i \delta_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

n fiind numărul de minerale componente; mărind gradul de aproximare se poate înlocui suprafața s cu numărul de ochiuri (pătrățele);

— de la conținutul în mineral se poate trece la conținutul în component util (c_u), luîndu-se în considerare conținutul teoretic (c_{tj}) al mineralului respectiv și utilizînd următoarea formulă

$$c_u = \frac{c_j \cdot c_{tj}}{100} \quad [\%]$$

— în continuare se repetă procedeul pentru fiecare eșantion și pentru toți componenții utili, iar rezultatele sînt comparabile cu ale probării chimice;

— conținuturile medii de minerale utile ($\bar{c}_m$) pe fiecare loc de probare se determină cu formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\sum_{k=1}^{e} c_{mk} \cdot S_k}{\sum_{k=1}^{e} S_k} \quad [\%]$$

în care: $m = 1, 2, \ldots, r$ reprezintă numărul de componenți mineralogici, $k = 1, 2, 3, \ldots, e$ eșantioane, S_k — suprafața șlefuită a eșantionului k;

— conținutul mediu ($\bar{c}$) în componenți utili se determină cu formula:

$$\bar{c} = \frac{\bar{c}_m \cdot S_{tj}}{100} \quad [\%], \text{ sau } [g/t] \text{ pentru metale prețioase.}$$

Metoda prezentată permite, de asemenea, punerea în evidență a variației componenților utili în locul de probare, iar dacă nu se urmărește acest lucru (avem mineralizație omogenă), pentru determinarea conținuturilor în minerale sau în componenți utili se însumează suprafața ocupată de fiecare mineral util pe toate eșantioanele de probare (sau numărul de ochiuri) care urmează să fie înmulțite cu densitatea mineralelor respective.

În cazul mineralizațiilor de impregnație, folosirea acestui procedeu conduce la conturarea corpurilor, la dirijarea lucrărilor de explorare sau chiar de exploatare, deoarece procedeul este destul de simplu și rapid, conducînd în același timp și la reducerea considerabilă a investiției specifice.

Metoda sorturilor de minereu se aplică în cazul zăcămintelor unde se pot individualiza (din punct de vedere mineralogic și chimic) tipuri de minereu, indiferent dacă acestea se pot extrage în mod separat sau nu în timpul exploatării. Mai precis, domeniul de aplicare a metodei are extindere asupra zăcămintelor de formă tabulară, în

care distribuția zonară a mineralizației variază în special după grosimea normală și asupra zăcămintelor sub formă de stockwerk (metasomatică), unde pot apare zone de concentrații mai mari sau mai mici de formă concentrică.

La aplicarea metodei, de regulă, se urmăresc mai multe etape cum sînt:

— cartarea geologică detaliată a locului de probare (tavanul galeriei, perete sau front), scara 1:100, 1:50, 1:20, cu delimitarea cît mai corectă a sorturilor de minereu;

— determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe tipuri de minereu, determinare care se face pe probe chimice sau mineralogice;

— determinarea masei volumetrice pe fiecare tip de minereu;

— calculul conținuturilor medii pe tipuri de minereu, cu relațiile:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{c}_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^{n} g_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă tabulară și}$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{c} \cdot s_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă de stock,}$$

în care:

$\bar{c}$ este conținutul mediu într-un anumit element sau mineral util; $\bar{c}_i$ — conținutul mediu în element sau mineral a tipului de minereu i; g_i — grosimea tipului de minereu i; s_i — suprafața tipului de minereu i; n — numărul tipurilor de minereuri diferențiate.

În cazul în care tipurile de minereu au mase volumetrice net diferențiate, atunci în relațiile de mai sus se ponderează și cu masa volumetrică.

Grosimile g_i și suprafețele s_i se măsoară pe planșă, ținîndu-se seama de scara de cartare, iar măsurătorile se fac la echidistanțe stabilite în mod experimental.

Rezultatele obținute în acest mod au un caracter informativ, iar metoda se aplică numai în cazul explorării cu lucrări miniere. Totuși, metoda în sine se caracterizează prin operativitate și economicitate ridicată, deoarece nu presupune recoltarea de probe geologice.

Metoda bazată pe separări gravitaționale se aplică în cazul explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile aluvionare, în care separarea mineralelor utile de cele de gangă se poate face în mod gravitațional.

Etapele probării:

— recoltarea materialului probă (prelevarea probei) se face:

- din lucrări miniere (puțuri de mînă și galerii);
- prin dragaj (în cazul zăcămintelor situate sub apă);
- din foraje;

— dezagregarea, care presupune desfacerea materialului probă în particule monominerale;

— spălarea probei, operație în care mineralele cu densitate mare (utile) sînt reținute, iar cele cu densitate mică sînt eliminate;

— separarea, care se face cu căușul sau șaitrocul cu apă mai puțină, iar identificarea elementelor utile se face după culoare;
— uscarea se realizează în vase metalice speciale sau chiar în căuș;
— determinarea conținutului în minerale grele, care se face prin cîntărire.

Metoda este simplă, de un caracter informativ, ceea ce face să fie folosită în primele etape ale explorării sau chiar și în etapa de detaliu, pentru dirijarea lucrărilor.

2.2. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR CHIMICE

Acest tip de probare este necesar în oricare dintre etapele de cercetare geologică, urmărindu-se, în cazul zăcămintelor metalifere, determinarea componenților utili și dăunători, iar în cazul zăcămintelor nemetalifere și a rocilor utile, prin acest tip de probare se urmărește și determinarea altor caracteristici.

Dintre metodele cele mai utilizate în practică sînt prezentate în continuare cele mai importante din punct de vedere al aplicabilității.

Probarea substanței minerale utile prin brazde are o foarte mare aplicabilitate în toate fazele de cercetare geologică și constă în realizarea unei excavații — pe tavanul, frontul sau unul din pereții lucrării miniere — de forma unei prisme drepte (dreptunghiulare sau triunghiulare), iar materialul rezultat reprezintă proba.

La prelevarea unei brazde trebuie să se țină seama de o serie de factori cum ar fi:

— lungimea brazdei (axa mare) să fie orientată după direcția de variație maximă a mineralizației (de regulă după grosimea normală sau aparentă a corpului);
— de regulă, probele se iau după întreaga grosime de variație a substanței minerale utile și numai în cazul unei omogenități foarte mari se admit abateri de la această regulă;
— se vor menține aceleași dimensiuni ale brazdelor pe toată porțiunea de prelevare;
— desimea probelor trebuie să mențină caracterul reprezentativ al probării;
— locurile de probare se pregătesc în așa fel încît să se evite contaminarea probelor;
— dimensiunile excavațiilor (brazdelor) se aleg în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației și de tăria rocilor etc.

Mărimea secțiunii transversale se ia, de regulă, invers proporțională cu gradul de uniformitate a distribuției componenților utili din cadrul mineralizației. Duritatea influențează în cea mai mare parte mijloacele de prelevare și costul operației de probare. În practică se recoltează probe cu dimensiuni transversale de 100 × 50 mm sau de 100 × 30 mm, 100 mm reprezentînd lățimea brazdei, iar 50 mm respectiv 30 mm adîncimea. Aceste dimensiuni nu se respectă întotdeauna deoarece există o serie de situații concrete cînd ele variază pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării; astfel în cazul mineralizațiilor foarte neuniforme, dimensiunile se iau în funcție de greutatea minimă admisă a materialului care constituie proba (pe unele porțiuni ale corpului, unde variația componenților utili este mare, probele trebuie să aibă dimensiuni mari și invers), iar pentru mineralizații cu variații mici brazdele pot avea dimensiuni mai mici decît cele prezentate.

Lungimea brazdelor se alege în funcție de grosimea corpului și de caracterul mineralizației. Pentru corpuri cu grosime de pînă la 1,20 m se recoltează o singură

probă în locul respectiv, iar dacă grosimea corpului este cuprinsă între 1,20 și 2,00 se pot lua:

— o singură probă (mineralizație omogenă);
— două probe egale (mineralizație mai puțin omogenă);
— mai multe probe, fiecare avînd lungimea egală cu grosimea unui tip de minereu.

În cazul corpurilor de grosime mare (> 2 m) lungimea probei poate fi ⩾ 1 m, în funcție de omogenitatea mineralizației. Secționarea probelor urmărește în principal probarea selectivă a tipurilor de minereu, care s-ar putea extrage în mod separat în procesul exploatării. Pentru mineralizații omogene și foarte omogene lungimea probelor poate fi foarte mare (o probă poate fi chiar pe toată grosimea corpului), realizîndu-se astfel o eficiență mai mare a procesului de probare. Un caz cu totul aparte îl constituie corpurile de dimensiuni mari care nu au limite nete cu roca înconjurătoare, cînd spre limita presupusă se recomandă probarea prin brazde cu lungime de circa 1m, deoarece limita corpului se stabilește pe baza analizelor chimice.

În concluzie, pentru corpuri de substanțe minerale utile de dimensiuni mari se recomandă ca probele să aibă lungime cît mai mare, fără a se afecta caracterul reprezentativ, realizîndu-se un număr cît mai mic de analize chimice și deci implicit o probare cît mai economică, iar secționarea probelor se va face numai în cazul în care situația concretă impune acest lucru.

Prelevarea probelor prin brazde presupune trei operații principale: *pregătirea locului de probare, marcarea probelor* și *extragerea propriu-zisă*.

— *Pregătirea locului* se impune pentru evitarea contaminării probei, deoarece, de regulă, probele se recoltează pe măsură ce se sapă lucrarea minieră și înainte de susținere. În cazul lucrărilor miniere, în urma exploziei de înaintare și după evacuarea materialului derocat, locul de probare prezintă două caracteristici care trebuie înlăturate, astfel: suprafața are o serie de neregularități (în special tavanul galeriei) și în același timp este acoperită cu praf care ar conduce la contaminarea materialului probă (deoarece praful provine din alte locuri decît cel de probare). Dacă s-ar proba o suprafață cu neregularități, lungimea probei ar fi mai mare decît grosimea corpului

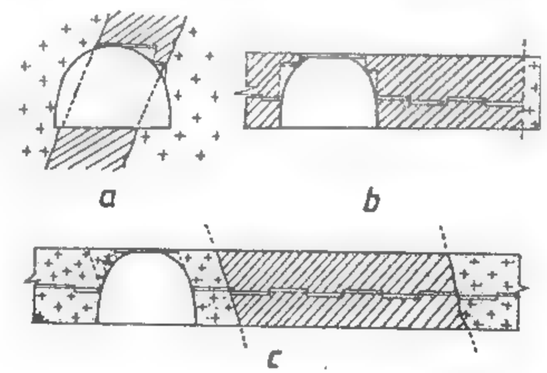


Fig. XII.1. Modul de pregătire a locului de prelevare a probelor în cazul galeriilor direcționale:

a — zăcăminte de grosime mică și înclinare mare; *b* — zăcăminte de grosime mare, cu limite verticale; *c* — zăcămînt degrosime mare cu limite înclinate.

ba mai mult, în cazul mineralizațiilor rubanate, în materialul probă s-ar introduce o cantitate mai mare decît cea reprezentativă. Pentru a evita o asemenea situație se urmărește ca suprafața de probare să fie cît mai plană, realizîndu-se acest lucru prin lucrări de nivelare (fără a se schimba locul de prelevare a probei), iar în cazul în care profilul galeriei este curbat se fac o serie de trepte ajutătoare (fig. XII.1), astfel încît proba să se recolteze tot după plane drepte.

În cazul în care se probează galerii vechi, locul de probare se curăță prin înlăturarea întregii cantități de mineralizație oxidată.

După nivelarea suprafeței de probare, pentru înlăturarea particulelor de praf se spală locul cu jet puternic de apă, după care se lasă să se usuce.

— *Marcarea brazdelor*, este cea de a doua operație ce urmează după uscarea locului deprobare și care se face cu vopsea, cu fum de la lampa cu carbid sau cu cretă, iar numărul probei se marchează întotdeauna cu vopsea, pentru a se menține cît mai mult (fig. XII.2). După susținerea porțiunii de galerie, numărul probei se marchează pe armături prin tăbliițe sau chiar direct cu vopsea pe armătura de lemn sau de beton.

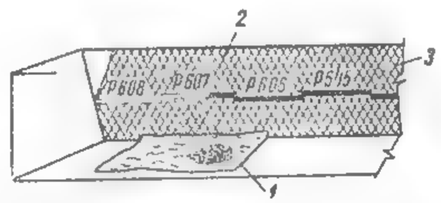


Fig. XII.2. Marcarea locului de prelevare a probelor și modul de așezare a prelatei pentru colectarea materialului probei în cazul probării manuale:

1 — prelată; *2* — nișă (galerie transversală scurtă); *3* — corp de substanță minerală utilă.

— *Extragerea propriu-zisă* a materialului probă se poate face manual sau mecanic.

În cazul în care prelevarea probei se face manual, sub locul de prelevare se așază o prelată curată pentru a se putea colecta tot materialul derocat și pentru a evita contaminarea probei (fig. XII.2). După recoltarea unei probe prelata se curăță bine pentru evitarea contaminării probei următoare.

Cînd prelevarea se face mecanizat, dispozitivul de recoltare este prevăzut cu anexe de recoltare a materialului probă direct în săculeț, dar cum în România nu s-au generalizat încă asemenea dispozitive, trebuie acordată o foarte mare atenție recoltării manuale.

Extragerea manuală a probei brazdă se face cu o serie de unelte, în funcție de tăria substanței minerale utile. Astfel, pentru mineralizații cu duritate mică se poate folosi toporul-teslă. Cînd duritatea este mai mare și foarte mare se folosește

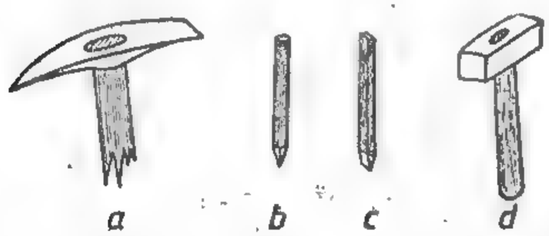


Fig. XII.3. Unelte pentru extragerea manuală a probelor brazdă:

a — topor teslă; *2* — țăncuș; *c* — daltă; *d* — fistău.

dalta, țăncușul (șpițul) și fistăul (fig. XII.3). Oțelul din care sînt confecționate aceste unelte trebuie să fie de calitate foarte bună. De aceea ele se confecționează, de regulă, din capete rămase de la sfredelele de perforare a găurilor de mină.

Modul de prelevare a probei constă în realizarea unui șanț pe conturul marcat (fig. XII.4), șanț care se poate realiza cu uneltele menționate mai sus sau mecanizat prin tăiere cu discuri acționate hidraulic sau electric (în funcție de condițiile de lucru).

După realizarea șanțului de contur urmează extragerea propriu-zisă a probei care se face cu dalta, țîrcușul sau chiar cu toporul-teslă, în funcție de duritatea materialului care urmează a se proba.

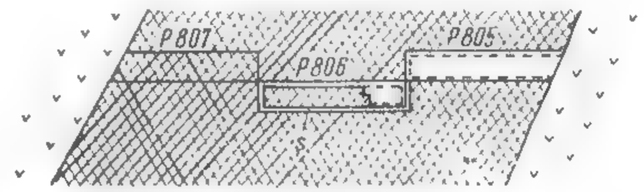


Fig. XII.4. Modul de extragere a probei brazdă:

1 — șanț; *P 805* — probă prelevată; *P 806* — probă în curs de prelevare; *P 807* — probă marcată pentru prelevare.

Înainte de începerea extragerii probei se fixează prelata cu suprafața de 2—3 m², în funcție de condițiile de lucru, astfel: în cazul galeriilor se poate așeza pe vatră cînd locul respectiv este uscat, sau ridicată pe o capră de lemn sau de metal, în cazul locurilor umede; aceleași situații se pot întîlni și în cazul coborîtorilor; în cazul suitorilor prelata se fixează pe poduri.

Se recomandă ca prelata să fie spălată și foarte bine curățată după recoltarea fiecărei probe, deși acest lucru presupune un număr mare de prelate care să fie folosite. Pentru evitarea acestui inconvenient, deasupra prelatei se poate așeza o folie de plastic, care se poate curăța foarte ușor; de asemenea, se pot utiliza prelate cauciucate sau confecționate din fibre sintetice, ce nu rețin în țesătură mineralele fine, care ar contamina proba următoare. Tot pentru a mări productivitatea probării se pot confecționa jgheaburi de tablă care au avantajul curățirii foarte rapide.

După dislocarea materialului probă din locul de probare, urmează trecerea acestuia în săculeți care au diferite dimensiuni, în funcție de volumul probei (15×20; 20×40 cm), care sînt confecționați din material rezistent. Pentru a putea fi folosiți cît mai mult timp și pentru a nu se contamina proba, s-a trecut la confecționarea de săculeți cu căptușeală din plastic sau chiar săculeți cauciucați. Săculeții obișnuiți (din țesătură de in, de bumbac sau de cînepă) după fiecare utilizare se spală bine și se usucă, după care se întorc pe partea cealaltă.

Fiecare probă este însoțită de *actul de identitate*, act care constă din două etichete ce trebuie să cuprindă: numărul probei, locul, data, numele și prenumele probatorului care a prelevat-o. Prima etichetă se pune în interiorul săculețului; dar cum de cele mai multe ori materialul probei este umed, pentru a se evita deteriorarea ei, eticheta se ambalează în folii de plastic sau se pune în tuburi care oferă etanșeitatea. A doua etichetă poate fi din lemn sau din tablă și se atașează la sfoara cu care se leagă săculețul.

Legarea săculeților trebuie făcută cu foarte mare atenție, pentru a se evita risipirea materialului probă în timpul transportului din lucrarea minieră la suprafață și de la șantier la laboratorul de analize chimice. Ea se face prin două locuri: prima dată se strînge gura săculețului și se leagă, după care se răsucește porțiunea fără material și se mai leagă cu aceeași sfoară cît mai aproape de material.

Pentru mineralizații cu omogenitate mare, omogenitate verificată, se pot înlocui brazdele menționate mai sus prin *probarea punctiformă* care, în final, conduce tot la o excavație sub formă de brazdă.

Această metodă constă în desprinderea de bucăți de dimensiuni de pînă la 3—5 cm, una de lîngă alta, din corpul de substanță minerală utilă (fig. XII.5). Acest mod de prelevare nu necesită prelată sau dispozitiv de colectare, iar timpul de prelevare a unei probe se reduce simțitor.

Aplicarea metodei necesită o verificare prealabilă prin brazde obișnuite și, în funcție de rezultate, se poate trece la aplicarea ei și pentru alte porțiuni de zăcămînt.

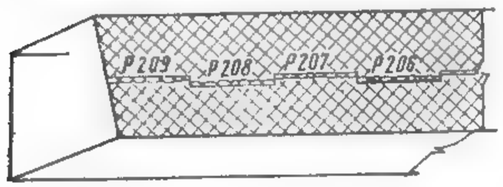


Fig. XII.5. Modul de dispunere a punctelor în probarea prin brazde punctiforme:
P 206...P 209 — probe brazdă punctiformă.

Prelevarea manuală a probelor brazdă este o operație care necesită, în cazul substanței minerale utile cu duritate mare, un volum mare de muncă, deci un cost destul de ridicat și un volum mare de timp (operativitate scăzută), care are influență mare asupra procesului de explorare, prin faptul că dirijarea lucrărilor de explorare se face foarte încet, în special în cazul zăcămintelor diseminate.

În cazul mineralizațiilor cu duritate scăzută, prelevarea manuală dă rezultate foarte bune deoarece sporește gradul de reprezentativitate.

Pentru mineralizațiile cu duritate ridicată la care se aplică metoda brazdelor, s-a impus mecanizarea procesului de extragere a probei, în acest sens făcîndu-se o serie de încercări cu rezultate bune. Dintre dispozitivele utilizate se menționează:

— dispozitivul mecanic realizat în U.R.S.S. de Institutul Unional pentru Tehnica Explorării (V.I.T.R.), care constă din atașarea la ciocanul de abataj a unei piese în formă de „U" cu dinți de tăiere;

— dispozitivul de tăiere a șanțurilor de contur a probei cu discuri cu inserții de diamante, extragerea probei din interiorul conturului făcîndu-se tot manual;

— dispozitivele I.P. — 6401 și I.E. 6404 care au caracteristici asemănătoare cu cel de mai sus, primul fiind cu acționare pneumatică, iar cel de al doilea cu acționare electrică etc.

Dispozitivele menționate mai sus nu se aplică în România, lucru pentru care nici nu se va insista asupra descrierilor și a caracteristicilor tehnice.

În România s-au făcut și continuă să se facă o serie de eforturi pentru rezolvarea problemei. Astfel, un colectiv de la I.P.E.G. Suceava — Cîmpulung Moldovenesc a realizat un dispozitiv pentru prelevarea mecanizată a probelor brazdă, dispozitiv care se află în curs de omologare și brevetare ca invenție la O.S.I.M.

Probarea substanței minerale utile prin brazde răzuite. Această metodă de probare este o variantă a metodei brazdelor și are următoarele caracteristici:

— lățimea brazdelor este mai mare de circa 10—20 ori, iar adîncimea este cuprinsă între 5—10 cm;

— în cazul mineralizațiilor foarte neomogene răzuirea se face pe toată suprafața deschisă a zăcămîntului;

— masa excavată este mult mai mare;

— se aplică în cazul mineralizațiilor cu valoare economică mare (ex. mineralizații cu metale nobile și rare);

— se poate utiliza și în cazul controlului probării;

— are domeniu de aplicare destul de limitat, ca urmare a costului ridicat;

— se aplică în urma unei cercetări experimentale și cînd este mai avantajoasă decît metoda brazdelor obișnuite etc.

Asemănarea cu metoda brazdelor obișnuite este mare și constă în faptul că:

— extragerea probei se face prin aceleași metode, iar denumirea a fost dată ca urmare a suprafeței mari de recoltare;

— la prelevare se execută aceleași operații ca și în cazul brazdelor.

Rezultatele obținute sînt mult mai precise dacă se respectă toate condițiile metodologice de probare, iar pentru a se menține caracterul reprezentativ trebuie menținută adîncimea de probare constantă.

Metoda de probare prin răzuire se poate aplica la toate tipurile de lucrări miniere, la fel ca și metoda precedentă, cu unele caracteristici asupra cărora se va insista în capitolul următor.

Probarea substanței minerale utile prin metoda punctelor. În cazul acestei metode, proba constă în comasarea probelor parțiale care se iau din nodurile unei rețele de formă dreptunghiulară, pătratică sau rombică (fig. XII.6), rețeaua alegîndu-se în funcție de gradul de rubanare a mineralizației.

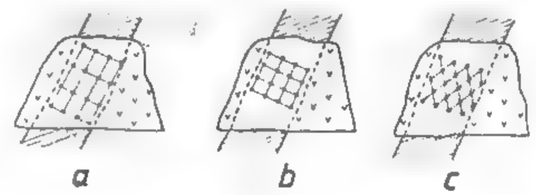


Fig. XII.6. Modul de repartiție a punctelor:
a — rețea dreptunghiulară; *b* — rețea pătratică; *c* — rețea rombică.

Metoda este operațională și cuprinde următoarele etape:

— pregătirea locului de probare, care se face la fel ca și în cazul metodei brazdelor;

— marcarea rețelei de probare cu cretă, vopsea sau fum de la lampa cu carbid;

— prelevarea probei, care se face în funcție de duritatea rocilor, cu țîncușul, dalta și fistăul în roci cu duritate mare, cu ciocanul geologic în cazul rocilor cu duritate mică, iar în ultimul timp prin găuri de mină;

— colectarea materialului din probele parțiale, material care este de 10—15 g, și comasarea lui în săculeți sau recipiente (pentru găurile de mină). Numărul de probe se stabilește prin încercări și comparînd rezultatele cu altă metodă (brazde sau brazde răzuite) pe aceeași suprafață de probare. Din practică se știe că cu cît numărul de probe parțiale este mai mare cu atît reprezentativitatea este mai bună și invers.

Metoda de probare prin puncte se poate aplica la toate corpurile cu mineralizații omogene: corpuri cu mineralizații masive — metasomatice, de impregnație sau cu variații mici ale mineralizației (este cazul mineralizațiilor de fier, mangan etc.), a corpurilor de cărbuni, roci utile etc.

Se recomandă în aplicarea rocilor cu duritate mare, deoarece este mult mai economică și mai operativă decît celelalte metode.

Probarea substanței minerale utile prin ștufe (eșantioane). Constă în prelevarea manuală sau mecanică a unor bucăți (eșantioane) de mineralizație, de masă cuprinsă între 0,5 și 2 kg. Proba poate fi constituită din una sau mai multe ștufe, în funcție de gradul de neuniformitate a componenților utili; în cazul mineralizației cu textură paralelă se ia cîte un eșantion din fiecare bandă mineralizată, în așa fel încît după prelevarea tuturor ștufelor să se obțină o probă reprezentativă.

Probele astfel recoltate pot fi cercetate sub mai multe aspecte, astfel: mineralogic, petrografic, din punct de vedere al indicatorilor calitativi — pentru roci utile, chimic și chiar tehnologic în fază de laborator. Cînd se analizează chimic au mai mult un caracter informativ, de orientare a lucrărilor de cercetare; din acest motiv se aplică mai mult după ce ne-am convins de gradul de omogenitate (deci, dacă se poate aplica sau nu) prin alte metode de probare.

Aplicarea acestei metode este destul de limitată deoarece are un caracter subiectiv, conducînd în final la erori mari.

Probarea substanței minerale utile prin găuri de mină. În cadrul acestei metode intră, în special, găurile de mină care se execută în scopul înaintării lucrării miniere respective, iar dacă nu sînt asemenea situații se pot executa și găuri speciale.

Această metodă rezolvă o serie de probleme cum ar fi:

— mecanizarea;

— operativitatea;

— economicitatea etc.

Materialul probă are o granulație fină, este uscat sau umed și reprezintă numai partea săpată în corpul de substanță minerală utilă și nu săpată și în roca sterilă.

Reprezentativitatea probării nu este întotdeauna îndeplinită, ca urmare a nerezolvării în totalitate a problemei captării materialului probă, ceea ce face să fie recomandată numai în cazuri complet argumentate.

Avantajele metodei sînt:

— grad mare de reprezentativitate (ca urmare a păstrării aceleiași dimensiuni în cazul găurii de mină) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă sau foarte omogenă;

— dă posibilitatea detectării și conturării de corpuri de substanțe minerale utile neinterceptate de lucrări de explorare (fig. XII.7);

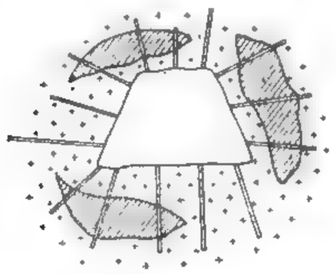


Fig. XII.7. Amplasarea găurilor de mină în vederea detectării a noi corpuri de substanță minerală utilă.

— se poate face probarea concomitent cu săparea lucrării miniere, chiar și cînd se execută lucrări suplimentare;

— materialul probă se prezintă gata sfărîmat, măcinat și omogenizat, nemaifiind nevoie decît de majorare înainte de efectuarea analizelor chimice;

— gradul înalt de mecanizare conferă metodei o mare operativitate și implicit o mare economicitate;

— în cazul cînd se pune problema exploatării pilierilor de siguranță se poate face o probare pe toată grosimea lor etc.

Dezavantajele metodei:

— în cazul zăcămintelor de grosime medie sau mică obținerea probelor este destul de imprecisă, ca urmare a traversării atît a rocilor din acoperiș cît și a celor din culcușul corpului de substanță minerală utilă;

— în situația rocilor fisurate sau cu cavități (geode) se pierde material probă;

— în cazul corpurilor cu benzi de minerale friabile se poate introduce o eroare sistematică;

— nu întotdeauna axa găurii de mină corespunde cu direcția de variație maximă a mineralizației, ceea ce conduce la scăderea caracterului reprezentativ etc.

Cu toate dezavantajele enumerate mai sus, totuși metoda se folosește, dar niciodată fără a fi verificată pe o porțiune de zăcămînt care a fost probată și prin alte metode.

Proba în sine poate fi constituită din materialul prelevat de la o singură gaură de mină (probă elementară) sau din mai multe, pînă la toate găurile dintr-un ciclu de înaintare.

Probarea prin această metodă se face în găuri scurte (1,5—3 m) în cazul corpurilor sub formă de stock sau stockwerk (cazul cel mai avantajos de aplicare), corpuri de formă tabulară de diferite dimensiuni, sau prin găuri lungi de pînă la 100 m (probele în această situație se secționează în tronsoane de pînă la 2 m lungime) pentru:

— corpuri lentiliforme;

— filoane satelit;

— apofizele corpului sub formă de stock sau stockwerk.

Pentru probarea zăcămintelor care se prezintă sub formă de volburi, stokuri, impregnații, cu structură compactă, în România s-a brevetat ca invenție *„Dispozitivul de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină"* realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană (jud. Alba).

Dispozitivul (fig. XII.8) permite recoltarea de probe geologice continuu, din metru în metru, sub un unghi de 40° față de axa galeriei, lungimea găurii fiind de 1,30 m, iar caracterul continuu se realizează prin proiectarea probelor pe axul galeriei.

Modul de recoltare a probei geologice constă în perforarea unei găuri la locul de probare, în lungime de 15 cm, cu cap detașabil cu diametrul de 62 mm (fără recuperarea materialului), după care în gaura astfel formată se introduce tubul metalic 3, care se fixează, realizîndu-se o etanșeitate perfectă între acesta și pereții găurii de mină. Prin tubul metalic se introduce tija perforatorului prevăzută cu un cap detașabil cu diametrul de 45 mm. Pe porțiunea din tubul metalic rămasă în afara găurii de mină și pe tija perforatorului 7 se aplică camera de evacuare a noroiului 4, pusă în legătură printr-un furtun de cauciuc 5, cu vasul de colectare 6. Noroiul rezultat în urma perforării găurii de mină (material probă plus apă) este evacuat în vasul de colectare pînă la decantare totală, iar apoi prin eliminarea apei se obține materialul probă, care urmează să fie supus analizelor de laborator.

La o gaură de mină cu lungime de 1,00—1,30 m, în funcție de diametrul corpului detașabil și greutatea specifică a rocii mineralizate, în mod teoretic se obțin 3—5 kg de material; practic prin cîntăriri s-au obținut, la un recuperaj de 92%, probe cu greutăți de 2,90—4,10 kg.

Dintre avantajele acestui dispozitivde recoltat probe geologice se menționează:

— mecanizarea lucrărilor de probare geologică;

— ușurința manevrării;

— adaptarea la orice fel de perforator;

— utilizează același tip de energie care se folosește și la săparea lucrărilor miniere;
— obținerea unui recuperaj bun (92%);
— nu se produc pierderi privind conținutul în componenți utili;
— are productivitate mare (3—4 m liniari pe post);
— costul unei probe mecanice este de 4—5 ori mai mic decît al unei probe manuale.

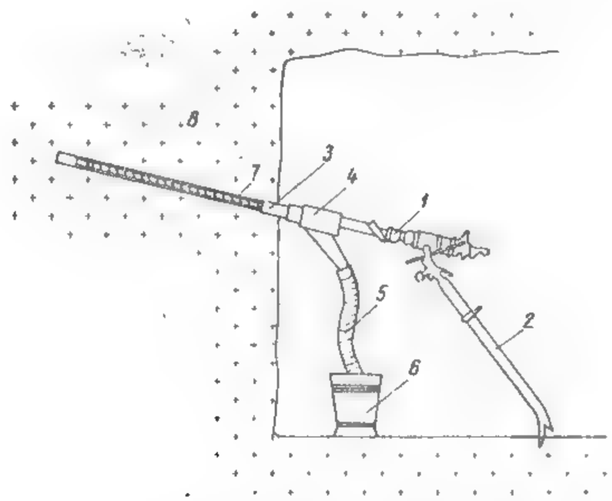


Fig. XII.8. Dispozitiv de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană jud. Alba):

1 — perforator; *2* — colonă de susținere; *3* — tub metalic; *4* — cameră de evacuare a noroiului; *5* — furtun de cauciuc; *6* — vas de colectare; *7* — sfredel de perforare; *8* — front de galerie mineralizat.

Utilizarea dispozitivului se face ori de cîte ori condițiile geologice impun acest lucru, și pentru a nu se introduce erori se fac încercări experimentale.

Metoda de probare globală. Se încadrează la metodele de probare pentru determinarea conținutului în componenți utili deoarece servește întotdeauna la determinarea acestora, deși se utilizează și în cazul metodelor pentru determinarea caracteristicilor tehnice și tehnologice.

Probele se prelevează în momentul săpării lucrărilor de explorare (galerii, suitori, puțuri de mină și șanțuri), iar cantitatea de material probă este formată fie din toată masa rezultată la săpare într-un ciclu de înaintare, fie numai din o parte din această masă. Cînd proba este constituită numai dintr o parte de material excavat, aceasta se obține în timpul încărcării materialului în vagonete (la un anumit număr de lopeți se reține o lopată pentru probă) sau în timpul transportului (cînd la un anumit număr de vagonete cu material de haldare unul se reține pentru probă).

Pentru aplicarea metodei de probare globală, materialul excavat trebuie să aibă o anumită granulație, altfel se pot introduce erori sistematice.

Cînd rezultatele probării globale se folosesc la calculul rezervelor, probele se iau sistematic, în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației, astfel:

— pentru mineralizații extrem de neuniforme probele se iau în mod continuu, după fiecare ciclu de înaintare;

— în cazul mineralizațiilor neuniforme și foarte neuniforme probele se prelevează la un anumit număr de cicluri de înaintare (3—4 cicluri).

Avînd în vedere că masa probei este mare (zeci de tone), pentru prelucrare se pot întocmi scheme de reducere, dar trebuie avută mare grijă pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării.

Avantajele metodei constau în faptul că rezultatele au o precizie mare și că probarea nu influențează negativ ciclograma de înaintare a lucrării miniere.

Dezavantajele rezultă din cheltuielile ridicate de transport și prelucrare și din imposibilitatea evitării includerii în probă a rocilor din acoperiș și culcuș.

Domeniul de aplicare al metodei este destul de mare, astfel:

— în cazul corpurilor de substanțe minerale utile tabulare cu grosime mai mică de 2 m se pot lua probe la fiecare ciclu de înaintare sau discontinuu, la anumită echidistanță;

— în cazul corpurilor tabulare cu grosime mare probele se prelevează continuu (la fiecare ciclu de înaintare) din nișele de explorare;

— în cazul corpurilor de alte forme probele se prelevează continuu sau discontinuu (după gradul de uniformitate a componenților utili), dar numai din lucrările care explorează zăcămîntul.

În concluzie, aplicarea uneia sau alteia dintre metodele de probare în lucrări miniere trebuie făcută cu mult discernămînt și se recomandă ca în prima fază a explorării geologice, pe o porțiune reprezentativă din zăcămînt (cunoscută din prospecțiune) să se experimenteze una sau mai multe metode, urmînd a se aplica metoda care îndeplinește cel mai bine condițiile unei probări corecte. La aplicarea metodologiei de probare prezentată mai sus trebuie să se țină seama de condițiile de zăcămînt și de gradul de mecanizare de care se dispune la momentul respectiv.

2.3. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNICE

Acest mod de probare se aplică pentru determinarea:
— masei volumetrice;
— umidității;
— coeficientul de afinare;
— tăriei rocilor;
— coeficientului de rupere la împușcare;
— rezistenței la compresiune, la șoc mecanic, la forfecare etc.

Probarea în vederea stabilirii masei volumetrice. Se efectuează pe sorturi industriale de substanță minerală utilă, care se pot exploata separat sau în cadrul aceluiași sort, cînd apar variații mari ale compoziției mineralogice (deci și variații ale masei volumetrice).

Masa volumetrică este un parametru principal de calcul al rezervelor de substanțe minerale utile și, indiferent de metoda de probare și de procedeul de determinare, trebuie să exprime masa unității de volum în condițiile de zăcămînt.

Pentru determinarea masei volumetrice se folosește *metoda globală* sau *metoda eșantionării* (eșantioanele avînd forme geometrice executate în condiții speciale).

În cazul metodei globale excavațiile executate prin împușcare se rectifică la o formă cît mai geometrică (pentru determinarea volumului golului excavat). Prin cîntărirea masei obținute și prin raportarea acesteia la volumul excavației se obține masa volumetrică în punctul de probare. Avînd în vedere faptul că executarea unei asemenea excavații este destul de costisitoare, determinarea masei volumetrice se face pe proba globală recoltată pentru determinarea caracteristicilor chimice, iar pentru obținerea unei valori medii cît mai apropiate de cea reală, se recomandă ca probele globale să fie cît mai uniform distribuite pe unitatea de calcul a rezervei.

Cînd mineralizația are mai puține goluri, iar acestea nu au o influență deosebită asupra determinării masei volumetrice, proba se ia sub forma unei excavații de formă cubică sau prismatică. Dacă roca mineralizată sau chiar mineralizația are tărie mare, excavația se poate face cu explozivi și pe urmă se aduce la forma cerută, cu dalta și ciocanul. În cazul rocilor plastice substanța minerală utilă se extrage sub formă de monolit de formă dreptunghiulară, cu latura mare perpendiculară pe stratificație. Volumul prismei se determină prin măsurarea dimensiunilor cu ruleta, iar masa prin cîntărire.

În condiții de laborator, masa volumetrică se determină (folosind aparatura din dotare) pe eșantioane provenite prin metodele de probare menționate, cu condiția păstrării reprezentativității probei. Eșantioanele cu pori mari sau chiar fisuri, după cîntărire se parafinează pentru determinarea mai exactă a volumului.

Cînd substanța minerală utilă este foarte compactă (deci masa volumetrică este apropiată de densitate), se poate folosi la determinări *picnometrul* (cantitatea necesară fiind de 1—2 g), materialul pentru determinări putînd proveni din proba duplicat de la analizele chimice.

În vederea ridicării productivității și a măririi eficienței economice, probele pentru determinarea caracteristicilor tehnice se pot analiza în vederea stabilirii umidității, permeabilității, capacității de absorbție etc.

Pentru mineralizațiile metalifere se recomandă să se stabilească masa volumetrică și în funcție de conținutul în componenți utili, luîndu-se în considerare corelația care există între acești parametri.

Probarea în vederea determinării umidității. Determinarea umidității se impune în cazul calculului de rezerve cînd aceasta influențează masa volumetrică și conținutul în componenți utili, care trebuie determinați pe probe uscate. Corecțiile trebuie făcute cînd umiditatea este accentuată.

Pentru determinarea umidității se iau probe răspîndite cît mai omogen pe unitatea de calcul a rezervei, iar pentru determinarea cît mai reprezentativă se recomandă ca acestea să se facă imediat după prelevarea probei.

Materialul probă provenit din prelevarea probelor obișnuite (prin metodele menționate mai sus) pentru determinarea caracteristicilor chimice se cîntărește la umiditatea din zăcămînt, se sfărîmă pînă la dimensiuni de 10—20 mm, după care se usucă la o temperatură de 105°C pentru eliminarea apei și se cîntărește din nou, iar umiditatea (u) se determină cu formula:

$$u = \frac{m_z - m_u}{m_z} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: m_z este masa materialului probă din zăcămînt;
m_u — masa materialului probă după uscare.

Umiditatea medie $\overline{u}$ se calculează prin media ponderată cu formula:

$$\overline{u} = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i \cdot m_{zi}}{\sum_{i=1}^{n} m_{zi}} \quad [\%]$$

în care: u_i este umiditatea probei i;
m_{zi} — masa probei i din zăcămînt;
n — numărul de probe care se iau în considerare.

Probarea pentru stabilirea coeficientului de afînare. Coeficientul de afînare (k_a) se determină pentru dimensionarea mijloacelor de transport, ca urmare a faptului că substanța minerală utilă extrasă are un volum mai mare decît aceeași masă în situ.

Determinarea coeficientului de afînare se face pe un număr de probe globale, probe la care se poate stabili volumul excavației din care s-a recoltat proba (V_{ex}) și volumul probei extrase (V_e), volum ce se poate stabili cu un vas de transport a cărui capacitate este cunoscută. Pentru determinarea coeficientului de afînare se folosește relația:

$$k_a = \frac{V_{ex}}{V_e}$$

Pentru determinarea coeficientului de afînare se pot folosi probele globale recoltate pentru determinarea caracteristicilor chimice.

Pentru determinarea caracteristicilor tehnice ale substanțelor minerale utile cu diferite utilizări în economie (asbest, talc, mică, materiale de construcție etc.), se prelevează probe și se fac determinări în funcție de standardele de stat în vigoare.

2.4. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNOLOGICE

Cunoașterea posibilității de valorificare optimă a substanțelor minerale utile, în condițiile tehnico-economice existente la o anumită etapă, se impune încă din prima fază a cercetării geologice (prospecțiunea), iar pe măsură ce cercetarea se adîncește crește și ponderea acestei cunoașteri pînă în faza de exploatare.

Indiferent dacă substanța minerală utilă este valorificabilă în condiții avantajoase sau nu în momentul respectiv, pentru conturarea industrială trebuie să se cunoască caracteristicile tehnologice ale acesteia.

Cercetările pentru determinarea caracteristicilor tehnologice trebuie efectuate după fiecare etapă a explorării (explorare preliminară și de detaliu), chiar dacă probele tehnologice din prospecțiune nu sînt destul de reprezentative, dat fiind faptul că s-ar putea să apară schimbări a caracteristicilor mineralizației pe anumite sectoare.

Pentru determinarea posibilității de valorificare a unei substanțe minerale utile se recoltează probe tehnologice, care se deosebesc de probele pentru determinarea

caracteristicilor chimice prin: mod de prelevare, metoda de studiu și modul de utilizare a rezultatelor.

Probarea tehnologică are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs minier cu valorificare optimă și stabilirea unor parametri necesari pentru întocmirea proiectului de exploatare.

În funcție de etapa de cercetare geologică, modul de recoltare, instalația unde se studiază și obiectivele urmărite, probele tehnologice pentru stabilirea posibilităților de preparare se împart în:

a) *Probe pentru faza de laborator*, care au o cantitate cuprinsă între 10—500 kg, se recoltează în prospecțiune și explorarea preliminară, se analizează în laborator și ne dau informații privind:

— caracteristicile calitative medii ale probei;
— caracteristicile mineralizației (asociație de minerale și concreșteri);
— metodele de preparare;
— fluxul tehnologic informativ;
— parametrii informativi privind extracția în componenți utili.

b) *Probe pentru faza pilot*, care au o greutate de 10—100 t, se analizează în instalație pilot (2—12 t/zi) în timpul explorării preliminare și de detaliu, obținîndu-se informații cu privire la:

— caracteristicile calitative medii ale probei;
— caracterizarea mineralizației (asociații mineralogice și concreșteri);
— flux tehnologic de preparare;
— grad de sfărîmare;
— sorturi de concentrate;
— extracția în greutate;
— extracția în componenți utili;
— consumul de reactivi.

c) *Probe pentru faza semiindustrială*, care au o greutate între 500 și 1 500 t, sînt analizate în instalația semiindustrială (20—40 t/zi), numai în faza de explorare de detaliu și ne dau informații cu privire la:

— caracteristicile calitative medii ale probei;
— fluxul tehnologic de preparare optim;
— gradul de sfărîmare;
— sorturile de concentrate;
— calitatea concentratelor;
— extracția în greutate;
— extracția în componenți utili;
— consumurile specifice de energie, materiale și reactivi.

d) *Probe pentru faza industrială (microproducție)*, care au o masă mai mare de 1 500 t, sînt prelucrate în instalație în funcțiune (peste 125 t/zi), se recoltează în fazele de explorare de detaliu și de exploatare, avînd ca scop verificarea și îmbunătățirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracție.

Probele tehnologice se recoltează dintr-un număr limitat de puncte de mineralizație, în comparație cu probele geologice pentru determinarea caracteristicilor chimice, care se recoltează sistematic din toată mineralizația.

Uneori pentru probele din faza de laborator și chiar pilot se poate folosi materialul rămas prin reducerea probelor chimice sau din carotele de la foraje.

Prelevarea probelor se face respectînd condițiile în care se află mineralizația (fără diluție), în special pentru faza de laborator și faza pilot, sau în condițiile viitoarei

exploatări (admițînd o diluție corespunzătoare tipului de mineralizație și metodele de exploatare preconizate) pentru faza semiindustrială și obligat pentru faza industrială.

Cantitatea de material probă și locul propus trebuie să fie corespunzătoare scopului.

Dacă cantitatea de material este mai mare decît necesarul de material corespunzător fazei de încercări tehnologice, se poate trece la reducerea materialului, după ce ne-am asigurat de reprezentativitatea maximă.

Pentru probele semiindustriale și industriale se transportă întreaga cantitate prelevată din mineralizație.

După prelevare, conform proiectului, se va efectua o probare chimică, atît a locului de prelevare cît și a materialului abatat (extras).

De regulă, probele tehnologice se prelevează din lucrările de explorare care traversează corpul mineralizat, după direcția de variație maximă a conținutului în componenți utili.

Înainte de operația propriu-zisă de prelevare a probei se marchează locul, marcaj care trebuie să rămînă și după ce s-a recoltat proba, iar locul respectiv se curăță și se nivelează cît mai bine posibil.

Dintre metodele utilizate pentru probarea tehnologică menționăm:

— brazde pentru probările chimice;
— metoda brazdelor răzuite;
— brazde obținute prin împușcarea pereților laterali sau a tavanului;
— folosirea întregului material dintr-o lucrare care explorează zăcămîntul;
— utilizarea materialului din abataje experimentale sau semiproducție, proiectate pentru verificarea parametrilor de explorare.

La recoltarea probelor tehnologice se are în vedere ca locul de prelevare să fie ferit de infiltrații care, printr-o antrenare de minerale din alt loc decît cel de probare, ar denatura conținutul; de asemenea, se exclud intercalațiile sterile care se pot separa în procesul exploatării.

Pentru depozitarea probei tehnologice se iau o serie de măsuri cum ar fi:

— marcarea locului de depozitare;
— evitarea contaminării probei;
— evitarea posibilităților de alterare a probei printr-o sincronizare între depozitare și transport;
— evitarea depozitării probei (pe cît posibil) în subteran;
— pentru probele pilot, semiindustriale sau industriale se recomandă amenajarea locului înainte de depozitare (de regulă se construiesc platforme).

Transportul probelor la instalația de prelucrare presupune, și el, anumite măsuri cum ar fi:

— probele în cantități mici (faza laborator) nu pun probleme mari de transport, dar cu toate acestea se evită contaminarea;
— probele în cantități mari presupun respectarea cu strictețe a măsurilor prevăzute în proiectul de recoltare a probelor;
— la transportul în subteran se vor evita rostogoalele prin care se scurge apa, iar pentru cele uscate se face o curățire perfectă de materialul rămas de la transporturile anterioare; vagonetele de transport se curăță și ele foarte bine;
— se evită transportul probelor tehnologice pe distanțe mari în mijloace de transport descoperite, în timpul iernilor, anotimpurilor ploioase etc;
— pe distanțe scurte se recomandă a se folosi mai mult transportul auto, pentru a se evita încărcările și descărcările pe calea ferată;
— în cazul transportului auto se curăță foarte bine autocamioanele (platformele), se verifică atanșeitatea, iar în timpul ploilor minereul se acoperă cu prelate;

— transportul conteinerizat este de preferat deoarece în acest mod se evită pierderile și impurificările;

— orice transport trebuie să fie **însoțit de o** *foaie de transport*, care cuprinde: proveniența probei, locul unde a fost încărcată (galerie, rampă, siloz etc.), cantitatea încărcată, iar foaia trebuie semnată de cei care au predat proba și au asistat la încărcarea și de primitorul probei la destinație. Foile de transport se anexează la *pașaportul probei* (actul de identitate care însoțește orice probă tehnologică) care cuprinde:

— felul probei și faza de cercetare;
— denumirea zăcămîntului;
— sortul de substanță minerală utilă;
— locul de prelevare (cît mai detaliat prezentat);
— modul de recoltare;
— cantitatea de material recoltat de la probare;
— modul de reducere a probei (dacă este cazul);
— prezentarea scurtă a zonei și a locului de recoltare (se anexează o schiță geologică a planului de orizont cu locul de prelevare, pe care se trec și probele chimice din documentația cu calculul de rezerve);
— un plan de situație cu probele chimice recoltate ulterior probei tehnologice;
— modul de depozitare și transport;
— precizarea modificărilor la proiectul de recoltare a probelor (dacă este cazul);
— observații deosebite și unele recomandări privind studierea probelor.

Documentul care însoțește proba trebuie semnat de următoarele persoane:

— geologul care a urmărit recoltarea probei tehnologice;
— inginerul care a răspuns de executarea lucrărilor;
— conducătorul șantierului.

Rezultatele probelor tehnologice se utilizează la următoarele documentații:

— studii de condiții industriale;
— proiecte geologice și studii de etapă;
— documentații de evaluare a rezervelor;
— studii tehnico-economice de valorificare.

3. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU LUCRĂRI MINIERE

3.1. PROBAREA ÎN ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

Ca regulă generală, la probarea substanței minerale utile în șanțuri și tranșee se are în vedere ca locurile de probare să se aleagă întotdeauna pe pereții șanțului sau tranșeei și numai în cazuri cu totul excepționale (cînd mineralizația apare numai în vatră) se admite alegerea locului de probare și în vatră. Nu se admite amplasarea locu-

lui de prelevare a probelor în vatră deoarece există pericolul de contaminare (care este foarte mare).

Cînd se aplică *metoda brazdelor* se urmărește ca brazdele să fie orientate (pe cît posibil) după direcția de măsurare a grosimii normale (fig. XII.9, *a*), iar cînd aceasta nu se încadrează pe unul din pereții șanțului, probele se amplasează orizontal (după grosimea orizontală; fig. XII.9, *b*).

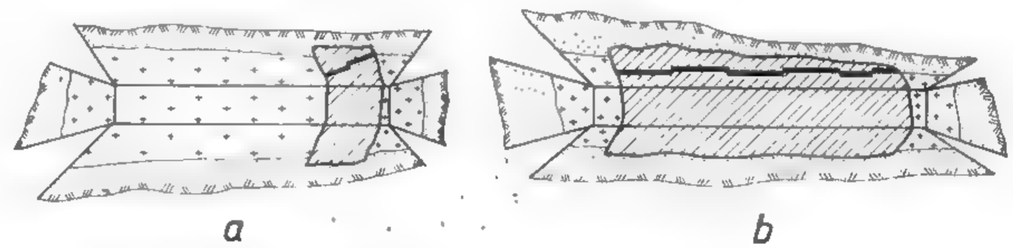


Fig. XII.9. Amplasarea probelor brazdă pe unul din pereții șanțului.

În situațiile în care probele brazdă 'rebuie să fie amplasate în vatra șanțului sau tranșeei, se iau toate măsurile pentru nu diminua caracterul reprezentativ, iar probele se amplasează după grosimea aparen orizontală, direcția axei mari a brazdelor fiind paralelă cu axa mare a șanțului (fig. II.10, *a*). Asemenea situații pot să apară cînd din motive tehnice nu s-a putut săpa ınțul adînc, grosimea depozitelor acoperitoare fiind mai mare de 4 m sau din cauza mijloacelor tehnice de execuție.

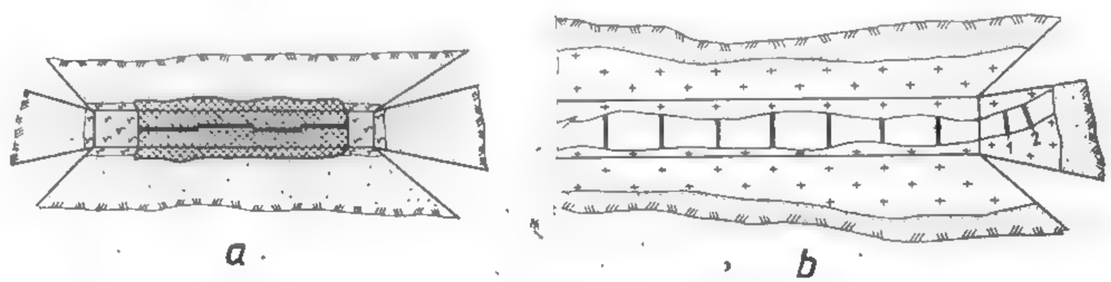


Fig. XII.10. Amplasarea probelor brazdă în vatra și în frontul șanțului.

Pentru situațiile în care șanțul sau tranșeea urmărește corpul de substanțe minerale utile (zăcăminte filoniene de grosime mică), probele brazdă se recoltează tot din vatra șanțului, dar axa mare a probei este perpendiculară pe direcția axei mari a șanțului (fig. XII.10, *b*). În asemenea situații probele se mai pot preleva și din frontul șanțului sau tranșeei, atît după grosimea orizontală cît și după grosimea normală (fig. XII.11).

În cazul zăcămintelor filoniene cu intercalații sterile, brazdele pot să includă și aceste intercalații (fig. XII.11, *a*) — cînd grosimea intercalației nu permite evitarea ei în procesul exploatării, sau să nu le includă (fig. XII. 11, *b*) — cînd se pot separa în exploatare. Pentru situația în care intercalația dintre părțile compacte este și ea

mineralizată, se probează separat partea compactă și separat partea de impregnație (fig. XII. 11, *c*).

Amplasarea probelor se poate face pe grosimea normală, pe grosimea orizontală sau pe grosimea aparentă, după cum ne situăm în unul din cazurile menționate mai sus.

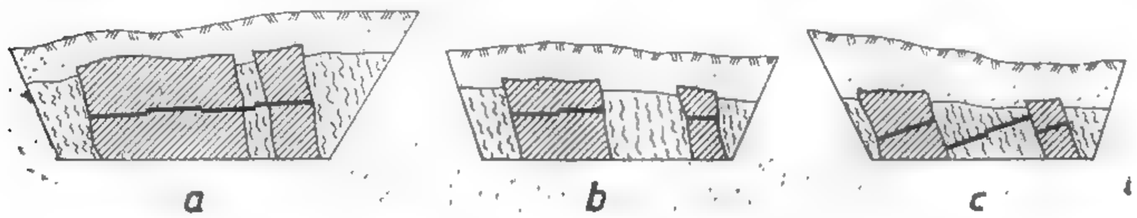


Fig. XII.11. Probarea corpului de substanță minerală utilă în peretele șanțului sau tranșeii în cazul prezenței intercalațiilor de rocă sterilă.

În cazul zăcămintelor de tip stockwerk, unde corpul nu are o limită netă cu roca înconjurătoare, probele se iau de regulă cu lungime egală ($l = 1$ m), pentru ca în urma analizelor chimice să se poată stabili limita corpului ca interes economic. În asemenea cazuri probele se prelevează pe toată porțiunea pe care se întinde alterația hidrotermală (fig. XII.12).

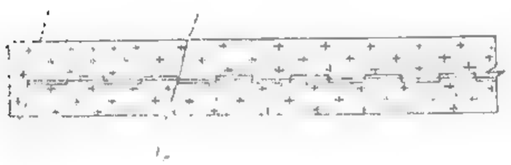


Fig. XII.12. Modul de prelevare a probelor în cazul unui zăcământ fără limite nete cu roca înconjurătoare:

l_g — limită geologică presupusă; l_c — limită de conturare (industrială).

Metoda *brazdelor prin răzuire* se poate aplica și în cazul șanțurilor, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, după cum urmează:

— în cazul corpurilor de grosime mare și înclinare mare, mineralizație neomogenă sau foarte neomogenă, brazdele se iau după grosimea orizontală, din peretele șanțului,

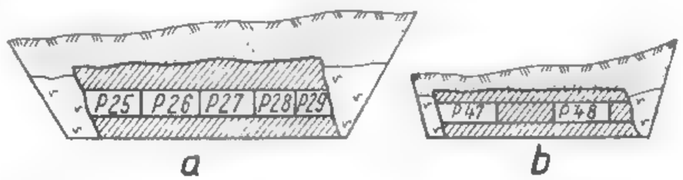


Fig. XII.13. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcământ filonian de grosime mare.

continuu (fig. XII.13, *a*), avînd lungimea de 1 m, iar spre limitele zăcămîntului se respectă regula de la pag. 311 și numai în cazuri cu totul excepționale se prelevează probe din vatra șanțului.

Cînd mineralizația este omogenă se pot preleva brazde discontinui (fig. XII.13, *b*);

— pentru corpurile de grosime mică (< 1 m), cu înclinare mare, brazdele se prelevează din vatra șanțului, lungimea unei brazde fiind de 1 m, iar lățimea va fi egală cu grosimea filonului. Dacă mineralizația este foarte neuniformă, probele se iau în mod continu (fig. XII.14, *a*), iar dacă este neuniformă probele brazde se pot recolta și discontinu (fig. XII.14, *b*);

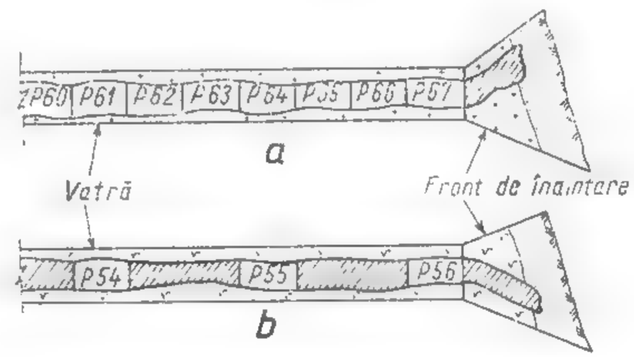


Fig. XII.14. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcământ filonian de grosime mică.

— pentru corpurile de mineralizații de tip stockwerk se aplică aceeași metodologie ca în cazul corpurilor de grosime mare, cu mențiunea că în zona limitei brazdele se iau continuu, pentru a se preciza limita industrială, deși este mai indicat ca limita industrială să se stabilească cu brazde obișnuite

În cazul *metodei punctelor*, probele parțiale se amplasează pe unul din pereții șanțului sau tranșeei, sau chiar pe vatră. Metoda punctelor este recomandată a se aplica în cazul în care sîntem nevoiți să probăm substanța minerală utilă în vatră, deoarece prin acest mod de probare pericolul de cootaminare a probelor este mai scăzut.

3.2. PROBAREA ÎN PUȚURI DE MÎNĂ, PUȚURI DE EXPLORARE, SUITORI ȘI COBORÎTORI

Probarea în puțuri de mînă și puțuri de explorare. În cazul folosirii puțurilor în explorarea corpurilor de substanțe minerale utile, probele se recoltează, de regulă, din pereții puțului (de pe un singur perete sau de pe doi pereți opuși, în funcție de gradul de variație a componenților utili).

Metoda brazdelor este o metodă des folosită în cazul puțurilor, brazdele urmînd a se preleva după grosimea normală sau grosimea verticală (fig. XII.15).

În cazul în care apar intercalații sterile între partea compactă, acestea pot fi incluse în sistemul de probare (fig. XII.16, *a*), evitate (cînd se pot separa în procesul

explorării fig. XII.16, *b*) sau se vor proba separat (în cazul în care și aceste roci conțin componenți utili, fig. XII.16, *c*).

Pentru corpurile de dimensiuni mari puțurile se probează pe unul din pereți, iar probele au lungime de 1 m. În situația în care nu se sesizează o limită netă între zona mineralizată și roca înconjurătoare, probele trebuie să aibă obligatoriu lungime de 1 m, pentru ca separarea dintre cele două zone să se facă pe baza analizelor chimice.

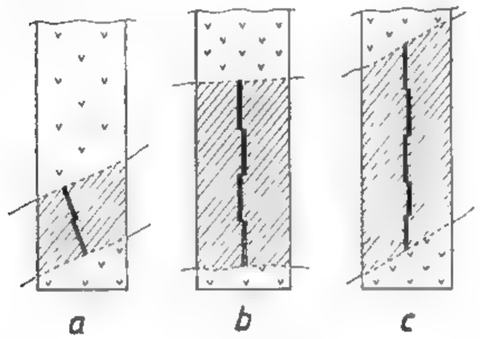


Fig. XII.15. Amplasarea brazdelor pe peretele puțului în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară (filon, strat etc.):

a — brazde amplasate după grosimea normală în cazul unui corp înclinat de grosime mică; *b* — brazde amplasate după grosimea normală, în cazul unui corp orizontal de grosime mare; *c* — brazde amplasate după grosimea aparentă verticală, în cazul unui corp înclinat de grosime mare.

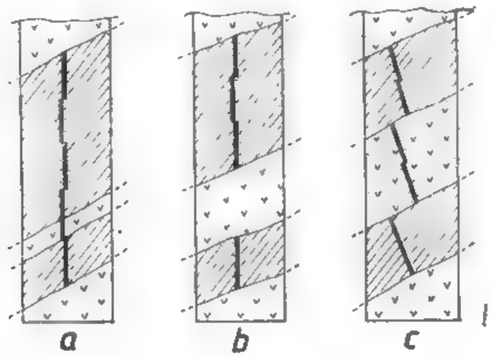


Fig. XII.16. Probarea corpurilor de substanță minerală utilă cu intercalații de steril în puțuri.

În caz cu totul excepțional (deoarece asemenea corpuri nu se explorează cu puțuri) brazdele se pot amplasa orizontal, cînd este vorba de explorarea corpurilor de formă tabulară, grosime mică (< 2 m) înclinare mare sau verticale.

Pentru corpurile care conțin mineralizație uniformă și foarte neuniformă, din puțuri se pot recolta probe *brazde punctiforme*.

Metoda brazdelor prin răzuire se poate aplica și în cazul puțurilor, iar în funcție de gradul de neuniformitate a mineralizației, acestea se pot recolta în mod continuu sau discontinuu (fig. XII.17). Procedeul de probare are mare aplicabilitate în cazul zăcămintelor reziduale.

Și în cazul puțurilor se poate aplica cu succes *metoda punctelor*, probele elementare putînd fi amplasate după grosimea normală (fig. XII. 18, *a*) sau după grosimea aparentă verticală (fig. XII.18, *b*), după cum grosimea normală se încadrează sau nu în peretele puțului.

Probarea în suitori și coborîtori. Cînd la explorarea corpurilor de substanțe minerale utile se utilizează suitori și coborîtori, acestea se probează pe unul din pereți sau pe doi pereți opuși, după cum mineralizația are un grad mare sau mai mic de omogenitate.

Avînd în vedere că nu există diferențe între probarea unei suitori și a unei coborîtori, se va trata numai probarea în cazul suitorilor, aceasta făcîndu-se cel mai frecvent prin cele trei metode: brazde, brazde prin răzuire și metoda punctelor.

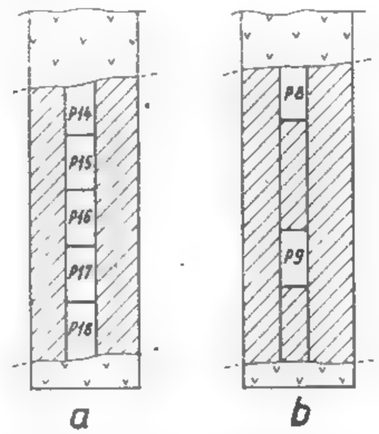


Fig. XII.17. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire pe peretele puțului:

a — mineralizație foarte neuniformă; *b* — mineralizație neuniformă.

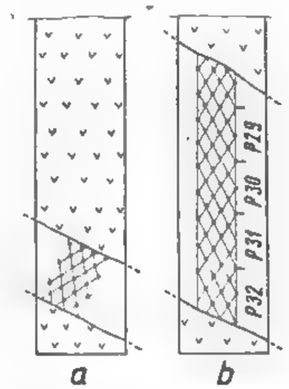
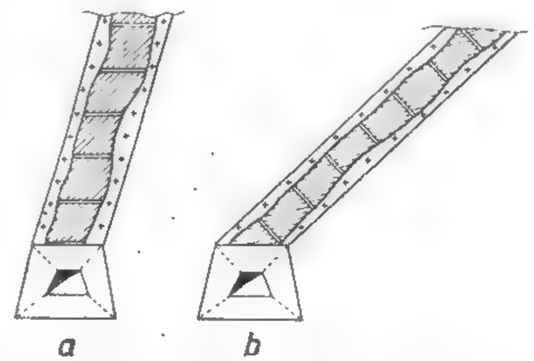


Fig. XII.18. Amplasarea probelor parțiale pe peretele puțului, în cazul aplicării metodei punctelor.

Metoda brazdelor se aplică în cazul corpurilor tabulare de grosime mică (< 2 m) și înclinare medie sau mare.

La asemenea tipuri de zăcăminte brazdele se iau după grosimea normală, pentru corpurile cu înclinare medie (fig. XII.19, *b*) și după grosimea orizontală la corpurile cu înclinare mare sau verticale (fig. XII.19, *a*).

Fig. XII.19. Amplasarea probelor brazdă pe peretele unei suitori, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, grosime mică și înclinare mare sau medie.



În cazul corpurilor tabulare de grosime mare (> 2 m) sau în cazul în care suitorile fac legătura între orizonturi, la zăcămintele în formă de stok sau stockwerk (suitorile care explorează mineralizația) probele se amplasează după înclinarea suitorii (fig. XII.20).

Metoda brazdelor prin răzuire se aplică și în cazul explorării cu suitori a corpurilor de formă tabulară, de grosime medie și mare. Și în acest caz pot să apară două situații, astfel: dacă mineralizația este foarte neuniformă brazdele prin răzuire se iau în mod continuu (fig. XII.21, *a*), iar dacă mineralizația este neuniformă brazdele prin răzuire se pot preleva discontinuu (fig. XII.21, *b*).

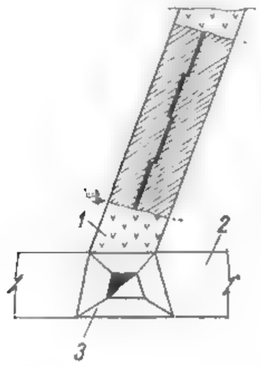


Fig. XII.20. Modul de Amplasarea probelor în peretele suitorii care explorează un zăcământ de grosime mare:

1 — suitoare; *2* — peretele galeriei transversale; *3* — galerie direcțională.

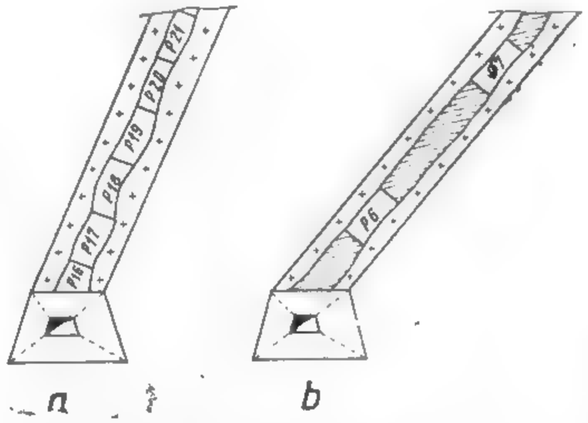


Fig. XII.21. Modul de prelevare a probelor brazdă prin răzuire în peretele suitorii.

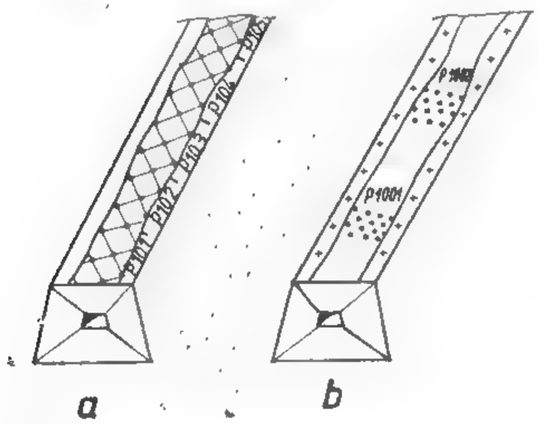


Fig. XII.22. Amplasarea probelor în peretele suitorii, în cazul metodei punctelor:

a — probare continuă; *b* — probare discontinuă

Metoda punctelor se aplică și în cazul suitorilor și coborîtorilor, cu mențiunea că probele elementare se pot recolta continuu sau discontinuu, în funcție de particularitățile mineralizației (fig. XII.22).

3.3. PROBAREA ÎN GALERII ȘI PLANE ÎNCLINATE

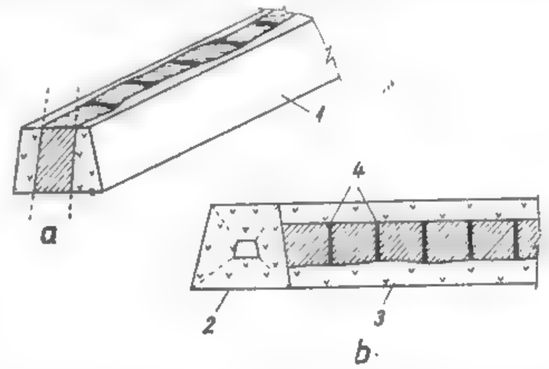
Probarea substanței minerale utile în *plane înclinate* este asemănătoare cu probarea în *galerii*, fapt pentru care vor fi tratate cele mai frecvente metode utilizate pentru galeriile de explorare.

Metoda brazdelor se aplică în funcție de tipul de galerie (direcțională sau transversală) și de poziția spațială a corpului de substanță minerală utilă cunoscut din prospecțiune.

În cazul zăcămintelor de grosime mică probele brazdă se amplasează în funcție de înclinarea corpului, astfel: la corpurile cu înclinare mare și medie probele se prelevează din tavanul galeriei direcționale, după grosimea orizontală, brazdele fiind disanțate la 1 m una de alta (fig. XII.23, *a*); la corpurile de grosime mică și înclinare mică sau orizontale, explorate cu galerii direcționale și plane înclinate, probele se prelevează de pe peretele galeriei, după grosimea verticală (fig. XII.23, *b*).

Fig. XII.23. Amplasarea probelor brazdă în cazul explorării prin galerii sau plane înclinate a unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mică (<2m):

a — corp cu înclinare mare; *b* — corp cu înclinare mică sau orizontal; *1* — galerie direcțională; *2* — galerie transversală; *3* — peretele galeriei direcționale; *4* — probe brazdă.



Tot în cazul corpurilor de grosime mică, brazdele se pot amplasa și în frontul de înaintare a galerici sau a planului înclinat (fig. XII.24), avînd în vedere prelevarea mai ușoară a probei, dar trebuie subliniate două mari dezavantaje ale acestui mod de probare, cum ar fi: includerea probării în ciclograma de înaintare a lucrării respective, deci creșterea timpului de înaintare și imposibilitatea repetării probării.

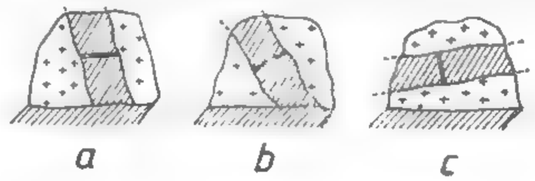


Fig. XII.24. Amplasarea brazdelor în frontul galeriei sau a planului înclinat:

a — corp cu înclinare mare; *b* — corp cu înclinare medie; *c* — corp cu înclinare mică.

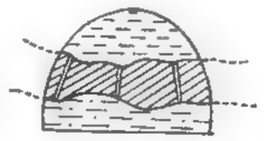


Fig. XII.25. Probarea în frontul galeriei sau a planului înclinat, în cazul unui zăcământ cu variații mari de grosime și a mineralizației.

Dacă se observă variații mari ale mineralizației atît pe verticală cît și pe orizontală, atunci din frontul galeriei se pot preleva două sau mai multe probe, urmînd ca în final să se facă media conținuturilor (fig. XII.25).

În cazul corpurilor de grosime mare și înclinare medie sau mare, explorate cu nișe, probele se iau orizontal pe unul sau doi pereți (fig. XII.26, *a*), iar în cazul în care apar intercalații sterile se aplică aceleași principii ca la șanțuri, puțuri de mînă, suitori și coborîtori, adică intercalația sterilă se probează (fig. XII.26, *b*), se exclude (fig. XII.26, *c*) sau se probează separat, cînd și aceasta conține minerale utile (fig. XII.26, *d*).

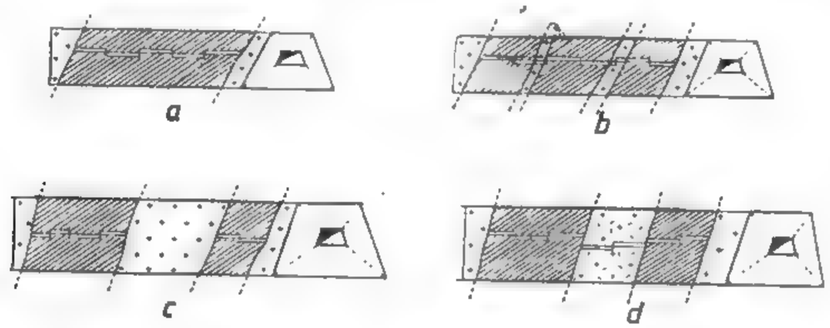


Fig. XII.26. Probarea prin brazde în peretele unei nișe sau galerii transversale, în cazul corpurilor de substanțe minerale utile de grosime mare și înclinare mare sau medie.

Există și situații cînd o galerie de acces traversează corpul de substanță minerală utilă (zăcămînt tabular cu înclinare mică și tectonizat), deși corpul se explorează cu lucrări verticale. În acest caz probarea în porțiunea respectivă trebuie făcută astfel încît probele să fie comparabile cu cele din lucrările verticale (foraje) (fig. XII.27). Acest mod de probare apare cu totul întîmplător.

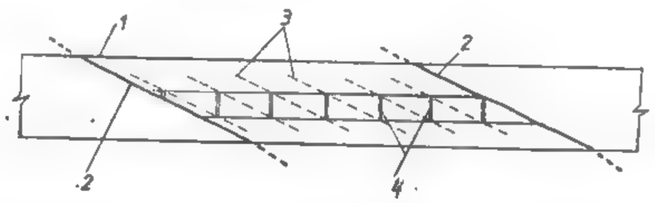


Fig. XII.27. Probarea unui corp de substanță minerală utilă cu înclinare mică într-o galerie de acces:

1—peretele galeriei; *2*—limita geologică a corpului de substanță minerală utilă; *3*—linii paralele la limitele corpului; *4*—probe brazdă.

Metodologia acestei probări constă în a marca pe peretele galeriei transversale două linii paralele orizontale, distanțate la 1 m una de cealaltă, linii ce delimitează intervalul de amplasare a probelor; acest interval se alege la o înălțime convenabilă de lucru, după care se pornește probarea de la limita zăcămîntului, prin marcarea unei probe verticale,

iar de la capătul de jos al brazdei se duce o paralelă la limita geologică a corpului care intersectează linia ce delimitează intervalul de probare, loc de unde se marchează a doua probă și așa mai departe. Și în acest caz se poate face o separare în probare a intercalațiilor sterile.

Pentru corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, metasomatice de contact etc.) probele se amplasează pe unul din pereții galeriei, iar în porțiunile unde se intersectează două galerii probele se amplasează pe tavanul galeriei (fig. XII.28). La aceste tipuri de mineralizații se disting două aspecte de care trebuie ținut seama: 1) dacă corpul are limita netă cu roca înconjurătoare (nemineralizată) probele se amplasează pînă la limită (fig. XII.28, *a*); 2) dacă corpul nu are limită netă între partea mineralizată și cea nemineralizată, se probează pînă cînd macroscopic roca nu mai este interesantă (fig. XII.28, *b*).

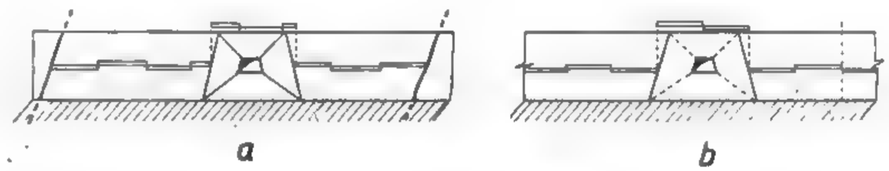


Fig. XII.28. Amplasarea brazdelor de probare în cazul unui corp de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Metoda de probare prin brazde răzuite se aplică și în cazul explorării corpurilor de substanțe minerale utile cu galerii și plane înclinate, după cum urmează:

— la zăcăminte de grosime mică (< 2 m) probele se pot recolta din tavan — atît în mod continuu cît și discontinuu (fig. XII.29, *a* și *b*) — din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.29, *c* și *d*);

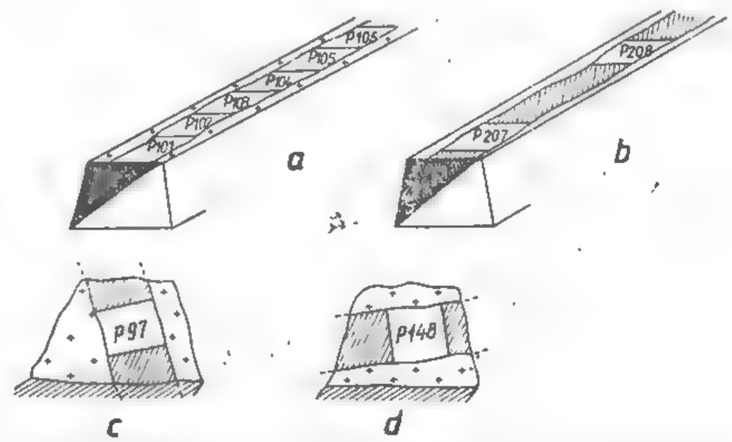


Fig. XII.29. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, explorate cu galerii sau plane înclinate.

—la corpurile de dimensiuni mari (tabulare, stockwerk, lentiliforme etc.), probarea se face pe pereți; dacă mineralizația este foarte neuniformă se probează continuu

(fig.XII.30, *a*), iar în cazul unei mineralizații neuniforme probare ase face discontinuu (fig. XII.30 *b*).

Avînd în vedere avantajele probării prin brazde răzuite față de cea prin brazde propriu-zise, se recomandă folosirea ei de cîte ori este nevoie și mai ales cînd nu poate fi înlocuită cu o altă metodă mai avantajoasă din punct de vedere al costului dar întotdeauna decizia să fie luată în urma unor încercări experimentale.

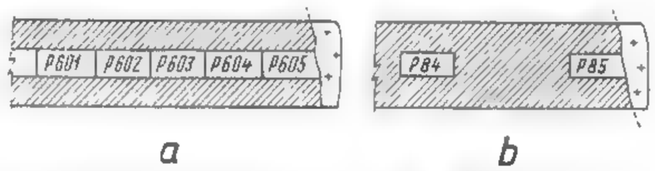


Fig. XII.30. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Probarea prin puncte este o metodă care se aplică la toate tipurile de zăcăminte de minerale utile, în funcție de forma corpului și de gradul de uniformitate a substanței minerale utile.

Pentru corpurile tabulare de grosime mică probarea se poate face din frontul galeriei, (fig. XII.31) sau din tavanul acesteia (fig. XII.32). Se alege prima sau a doua situație în funcție de modul în care probarea poate sau nu să fie inclusă în ciclograma de săpare. Aceasta nu poate fi inclusă întotdeauna în ciclograma de săpare din două motive: 1) reduce viteza de înaintare; 2) nu se poate repeta probarea în același loc.

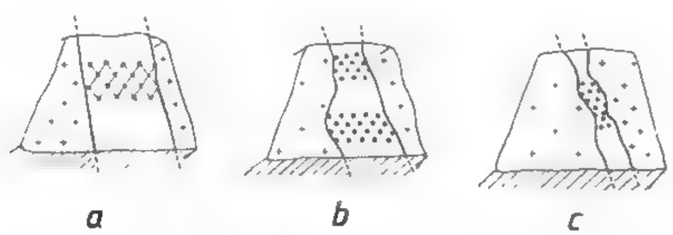


Fig. XII.31. Probarea corpului de substanță minerală utilă prin metoda punctelor, în frontul unei galerii direcționale:

a — corp de grosime medie fără variații de grosime; *b* — corp cu variații de grosime; *c* — corp de grosime mică.

În cazul în care probarea se face din tavanul galeriei, aceasta poate avea un aspect continuu (fig. XII.32 *a*) — cînd avem variații mari ale mineralizației pe direcția corpului, sau la intervale discontinuu, mari — cînd nu se sesizează variații mari ale mineralizației pe direcției de înaintare a galeriei (fig. XII.32,*b*).

Probarea din pereții galeriilor sau a planelor înclinate poate îmbrăca o serie de aspecte, la fel ca și în cazul probării prin brazde, astfel: în cazul corpurilor tabulare de

grosime mare și înclinare mare (fig. XII.33) probarea se face pe unul din pereții galerie respectîndu-se rețeaua de probare și, mai precis, probarea continuă (fig. XII.33, *a*): cînd avem de-a face cu intercalații sterile sau intercalații cu alt tip de mineralizație se aplică aceeași tehnică de probare ca în cazul probării prin brazde (fig. XII. 33, *a*, *b*, *c*), iar cînd intercalația sterilă nu poate fi separată în procesul exploatării trebuie avut grijă ca proporția de brazde parțiale să fie în funcție de grosimea corpului de mineralizație.

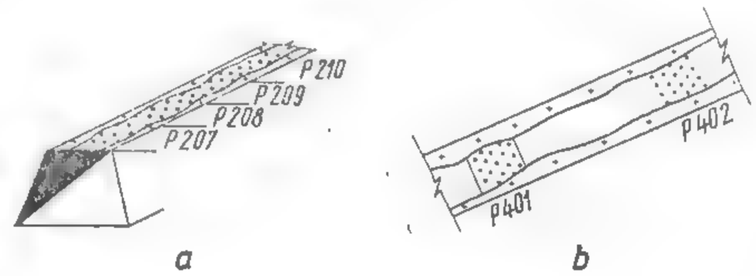


Fig. XII.32. Amplasarea probelor parțiale în tavanul galeriei, în cazul explorării corpurilor de substanță minerală utilă de grosime mică.

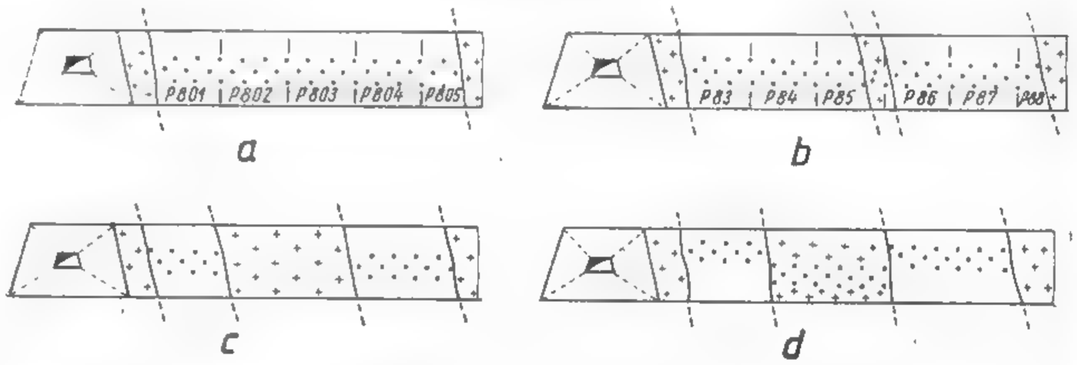


Fig. XII. 33. Amplasarea probelor punctiforme în galeriile de explorare a corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mare:

a — mineralizație compactă; *b* — mineralizație cu intercalație sterilă inseparabilă în procesul exploatării; *c* — mineralizație cu intercalație sterilă sperabilă în procesul exploatării; *d* — două dipuri de mineralizație care pot fi exploatate separat.

În cazul corpurilor mineralizate de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, lentile etc.), probele parțiale se prelevează din pereții galeriilor ce explorează corpul, probarea îmbrăcînd două aspecte: 1) dacă mineralizația are o oarecare variație în planul de orizont, se probează în mod continuu (fig. XII.34, *a*); 2) cînd mineralizația este foarte uniformă probele se pot preleva în mod discontinuu (fig. XII.34, *b*); înainte de a aplica o variantă sau alta trebuie verificată variația mineralizației, iar dacă nu sîntem siguri de acest lucru ne limităm la prima variantă.

În cazul corpurilor de formă tabulară cu grosime mică și înclinare mică sau orizontale explorate cu plane înclinate și galerii direcționale, probele parțiale se pot preleva din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.35, *a*) sau din unul din pereții lucrării

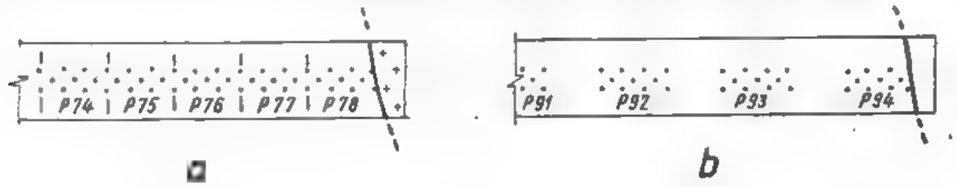


Fig. XII.34. Amplasarea probelor punctiforme în peretele galeriei, cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

miniere (fig. XII.35, *b*). Se recomandă prelevarea din pereți, deoarece acest mod de probare nu influențează negativ viteza de înaintare a lucrării respective și este mult mai comodă pentru persoana care execută operația de probare.

Probele parțiale, în cazul metodei punctelor, se pot recolta fie sub formă de eșantioane de dimensiuni reduse și masă cuprinsă între 10 și 50 g, fie din găuri de mină (se mai numește și *metoda găurilor de mină*).

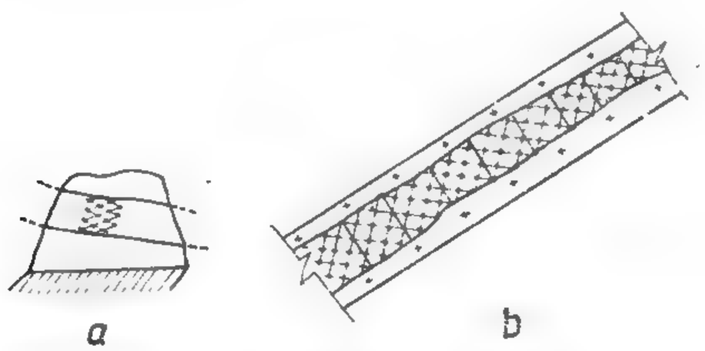


Fig. XII.35. Amplasarea probelor parțiale în galerie sau plan înclinat, în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontal și grosime mică.

În cazul în care materialul probei parțiale provine din găuri de mină, acesta se prezintă fie sub formă umedă, fie sub formă uscată. Trebuie acordată o foarte mare atenție modului de colectare a acestui material (se vor evita pierderile), deoarece se influențează foarte mult reprezentativitatea probării. Dispozitivele de proare sînt tratate pe larg în „Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile" de D. Sandu et al.

Probarea prin puncte este comparabilă cu probarea prin metoda brazdelor propriu-zise sau a celor răzuite, din punct de vedere al reprezentativității probării pentru un

număr destul de mare de corpuri de substanțe minerale utile. Acest mod de probare are operativitate foarte mare, în comparație cu metoda brazdelor, la același grad de reprezentativitate.

4. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU FORAJE

Ca urmare a utilizării pe scară tot mai mare a forajelor în explorarea geologică, utilizare care se impune datorită eficienței economice tot mai mari (prin reducerea timpului de obținere a informațiilor și a costului mai scăzut în comparație cu lucrările miniere), trebuie acordată o mare atenție probării substanței minerale utile în acest tip de lucrări.

Pentru îndeplinirea condițiilor unei probări cît mai corecte se atrage atenția asupra responsabilității care revine persoanelor implicate atît în recoltarea materialului de probă, cît și asupra probării acestuia, ca urmare a inconvenientelor care le are explorarea cu foraje, inconveniente cum ar fi:

— densitatea punctelor de explorare este limitată, totodată și a punctelor de probare, din cauza condițiilor de teren (geomorfologice și tehnico-economice);

— repetabilitatea probării nu se poate face decît în cazul executării unei noi lucrări;

— se pot introduce erori mari ca urmare a adaosurilor și a pierderilor de substanță minerală utilă;

— în cazul corpurilor tabulare cu grosimi mici și la un recuperaj mic, probarea pe tipuri de mineralizație nu mai este posibilă;

— cînd mineralizațiile au variații mari și foarte mari a componenților utili, nu se poate obține o precizie foarte mare, indiferent de numărul de foraje;

— traversarea corpurilor de formă tabulară nu este posibilă întotdeauna după grosimea normală;

— la mineralizații cu duritate mică, recuperajul, de regulă, este scăzut, lucru ce conduce la influențarea negativă a reprezentativității;

— întocmirea documentațiilor geologice se face în cea mai mare parte pe baza materialului extras din gaura de sondă etc.

Proba, în cazul explorării cu foraje, poate fi prelevată numai din carotă, carotă + detritus ori numai din detritus.

Materialul obținut în urma probării se poate folosi pentru determinări mineralogice, petrografice, chimice și chiar tehnologice în faza de laborator.

În continuare, se tratează problema metodicii probării în funcție de modul de obținere a materialului care face obiectul probării.

4.1. PROBAREA ÎN CAZUL EXPLORĂRII CU FORAJE CU CAROTAJ MECANIC

Carotajul mecanic este mult folosit în cazul explorării substanțelor minerale utile, iar materialul obținut în vederea probării se prezintă sub formă de carote și detritus, urmînd ca o probă să fie constituită din întreg tronsonul de carotă (foraje cu diametru mic — executate din subteran) sau numai a unei părți din carotă (cazul forajelor cu diametru mare executate de la suprafață).

Probarea ca operație în sine, în cazul carotajului mecanic, impune o serie de etape cum ar fi :

— extragerea materialului de probat;
— spălarea materialului;
— verificarea recuperajului;
— extragerea materialului probă;
— ambalarea și etichetarea probei.

Extragerea materialului de probat este o operație foarte importantă, deoarece de modul cum este extras acesta depinde, în bună parte, reprezentativitatea probării în sine.

Operația de extragere a materialului de probat constă în dislocarea din talpa forajului a materialului prin care a traversat forajul, material care adus la suprafață poate să se prezinte sub trei aspecte, în funcție de caracteristicile rocilor traversate, și anume : carotă, carotă + detritus sau numai sub formă de detritus. Prima situație este cea mai avantajoasă, iar pe măsură ce ne situăm în următoarele forme (carotă + detritus, sau detritus), situația este din ce în ce mai dezavantajoasă. Forma sub care apare materialul de probat impune verificarea de fiecare dată a recuperajului.

Avînd în vedere forma de prezentare a materialului de probat la gura găurii de sondă, în continuare se prezintă cîteva aspecte privind obținerea carotelor și a detritusului.

Obținerea carotelor se face prin folosirea unor dispozitive care se montează la partea inferioară a garniturii de foraj numite *carotiere*. Carotierele sînt de două tipuri : *normale* și *speciale*. În categoria carotierelor normale intră carotierele *simple* și *duble*, iar în categoria carotierelor speciale intră *carotierele pentru extras carote orientate, carotierele cu tub interior ireductibil* și *extractibil prin prăjini, carotiere de luat probe din pereții găurii de sondă* etc. Carotele se obțin în cazul forajului mecanic rotativ și sau formă cilindrică cu dimensiunile în funcție de dimensiunile carotierei și a durității formațiunilor geologice pe care le străbate aceasta.

În cazul explorării unui corp de substanțe minerale utile, se recoltează carote și din formațiunile pe care le traversează forajul pînă la mineralizație, obținîndu-se în acest mod o serie de informații cu privire la structura geologică. Cînd se carotează substanța minerală utilă a corpului, se iau cîteva măsuri în funcție de situația concretă, cum ar fi :

— în apropierea corpului se fac observații atente asupra fluidului de foraj și a carotelor din roca înconjurătoare;
— se oprește temporar forarea pentru pregătirea carotării, pregătire care cuprinde :
  - notarea adîncimii de interceptare a corpului;
  - spălarea tălpii forajului (în roci dure);
  - consolidarea găurii de sondă în cazul rocilor slab consolidate;
— în cazul corpurilor de formă tabulară de grosime mică se carotează și rocile înconjurătoare, pentru a se putea delimita cît mai bine corpul de substanță minerală utilă;

— pentru corpurile de formă tabulară de grosime medie sau mare pot apare două situații : 1) cînd mineralizația prezintă zonalități, se carotează separat ; 2) cînd mineralizația este compactă se stabilesc marșuri egale de pînă la 2 m lungime;
— la corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile se pot stabili marșuri pe tipuri de mineralizație sau marșuri egale (de 1 m) cînd mineralizația este compactă;
— după extragerea carotei sau a fragmentelor de carotă se spală carotiera, operație care se repetă după fiecare marș de carotare;
— se va stabili cu precizie intervalul carotat și se va trece la stabilirea recuperajului.

Stabilirea recuperajului (r) se face la fiecare marș de înaintare, folosindu-se următoarea formulă :

$$r = \frac{l_c}{l_i} \cdot 100 \ [\%]$$

în care : l_c reprezintă lungimea carotei obținute la gura găurii de sondă;
l_i — lungimea intervalului carotat.

În România se admite, conform normelor în vigoare, un recuperaj de minimum 80%.

Cînd l_c este egală cu l_i se obține un recuperaj foarte bun (caz ideal), dar de regulă putem să ne situăm în prezența unei carote incomplete sau chiar să lipsească din tubul carotier, fenomen cauzat de :

— prezența unei mineralizații cu duritate mică;
— prezența unei mineralizații foarte fisurate;
— șocul hidraulic produs de fluidul de foraj asupra carotei etc.

În vederea obținerii unui recuperaj cît mai bun se impune a se lua o serie de măsuri cum ar fi :

— marșurile să fie cît mai scurte, de pînă la 2 m, pentru prevenirea frecării carotei de tubul carotier;
— turația garniturii de foraj să fie în funcție de formațiunile carotate;
— la traversarea corpului mineralizat se alege un tub carotier cît mai mare (în limitele găurii de sondă);
— folosirea carotierelor duble în cazul traversării formațiunilor fisurate sau sfărîmate tectonic;
— reducerea la minimum a circulației fluidului de foraj pentru evitarea spălării carotei (forajul uscat se recomandă la formațiuni afînate);
— în cazul traversării formațiunilor ușor dizolvabile se recomandă ca fluidul să aibă aceeași componenți cu corpul mineralizat;
— la ruperea carotei din talpă se recomandă folosirea dispozitivului pană etc.

În cazul obținerii unui recuperaj mic ($< 80\%$) se trece la recoltarea detritusului

După obținerea carotei, aceasta se spală cu jet de apă pentru a se îndepărta pelicula de fluid de foraj, iar după uscare se așază în lădițe de probe. Lădițele au lungimi de circa 1 m, înălțimea mai mare decît diametrul carotei și lățimea cît să permită așezarea a 5—6 tronsoane paralele. Pentru evitarea frecării carotelor între ele, lăzile de probe sînt compartimentate.

Așezarea carotelor se face în ordinea extragerii, iar intervalul de carotare se va menționa pe marginea fiecărui compartiment.

Dacă o probă este mai lungă decît lungimea lădiței (unui compartiment) se continuă așezarea în compartimentul următor, dar probele despărțindu-se la capete prin bucăți de scîndură.

În cazul unui recuperaj acceptat se trece la documentarea geologică și în final la probarea propriu-zisă a carotelor.

Lăzile se numerotează la capete în ordinea în care conțin și carotele.

Obținerea detritusului se poate impune din două motive și anume : datorită nerealizării unui recuperaj corespunzător (< 80%) sau datorită naturii substanței minerale utile.

Detritusul reprezintă partea solidă de substanță minerală utilă rezultată din spațiul inelar realizat de carotieră, la care se mai adaugă și partea solidă din tubul carotier.

Recuperarea detritusului se impune și în cazul unui recuperaj acceptat, deoarece de cele mai multe ori în timpul carotajului se poate produce o scădere a conținutului în componenți utili a materialului din carotă, deci implicit introducerea unei erori mari la calculul rezervelor geologice.

Una din problemele importante ale obținerii detritusului este recuperarea cît mai bună a acestuia. În acest sens se folosesc mai multe metode dintre care menționăm : 1) cîntărirea detritusului uscat obținut și compararea masei acestuia cu masa volumului teoretic ; 2) compararea cantității de apă introdusă în sondă cu cea extrasă. La o pierdere mai mare de 20% se impune tubarea găurii de sondă.

Detritusul se recoltează de pe același interval de pe care s-a extras și carota (material de probat format din carotă + detritus) sau detritus din intervalul în care ne-am propus să efectuăm probarea.

Recoltarea detritusului se poate face cu ajutorul unui tub colector montat la partea superioară a tubului carotier — în cazul cînd circulația se face cu apă sau cu fluid cu densitate mică — sau a unei instalații de captare a detritusului cu hidrociclon submersibil — în cazul fluidelor de foraj cu densitate mare ; această instalație este folosită în mod frecvent în procesul de explorare.

Detritusul astfel obținut va purta un act de identitate corespunzător intervalului de probare.

Probarea carotei și a detritusului se impune în funcție de modul cum se prezintă materialul obținut din intervalul de probare ; dacă materialul este sub forma unei carote cu recuperaj > 80% se probează numai carota ; dacă materialul obținut este sub formă de carotă și detritus se probează amîndouă componentele, iar dacă avem numai detritus se probează numai acesta.

a) *Probarea mineralogică* se aplică la carote, deoarece în cazul detritusului elementele componente au dimensiuni prea mici pentru a putea fi supuse studiului microscopic.

În cazul carotelor, probarea constă în detașarea cu ciocanul sau cu dalta a unei porțiuni mici, în special din partea de carotă rămasă ca martor în cazul probării (metoda înjumătățirii axiale).

La obținerea probelor mineralogice se are în vedere următoarele :

— proba sau mai precis secțiunea subțire sau șlefuită nu se alege din porțiunea unde structura a fost modificată ca urmare a carotajului ;

— probele pot reprezenta tipuri reprezentative de mineralizație sau de rocă sterilă ;

— pe materialul probă se va marca exact locul unde trebuie să se execute secțiunea ;

— în *actul de identitate al probei* se va marca exact adîncimea de prelevare etc.

Probarea mineralogică se recomandă deoarece ne dă o imagine cît mai bună asupra compoziției mineralogice și petrografice a mineralizației ; se aplică în special în cazul explorării preliminare sau în extindere, urmînd ca datele obținute să servească explorării de detaliu.

b) *Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice a substanței minerale utile* (probarea chimică), în cazul carotelor, se face prin trei metode mai utilizate în practică și anume :

— metoda înjumătățirii axiale ;

— metoda brazdelor după generatoarele carotelor ;

— metoda reținerii integrale a carotelor.

Metoda înjumătățirii axiale constă în spargerea carotei după un plan axial, operație care se face fie manual fie mecanic.

Înjumătățirea manuală a carotei se face cu dalta și cioacanul, metodă care are o largă aplicabilitate și în prezent, deși înjumătățirea corectă nu se face decît foarte rar.

Metodologia despicării manuale după un plan axial constă în așezarea carotei pe o placă sau șină, după care cu dalta și ciocanul se urmărește planul axial, care în prealabil a fost trasat pe suprafața carotei (fig. XII.36).

După fiecare probă recoltată se curăță locul de probare pentru a evita contaminarea probei următoare.

Așa cum s-a mai menționat, nu întotdeauna despicarea se face după planul materializat pe carotă, deoarece de cele mai multe ori carota are prinse în ea și fisuri cu minerale de neoformație cu duritate mică, iar despicarea în cazul șocului tinde să se facă după planul de fisurație.

Din motivul menționat mai sus și pentru a mări productivitatea acestei metode de probare se folosesc pe scară tot mai largă dispozitive mecanice, la care tăierea după planul axial se face cu discuri cu inserții de diamante.

În urma aplicării acestei metode se obțin două jumătăți de carotă (fig. XII.37) una ca probă martor, iar alta proba pentru analize chimice.

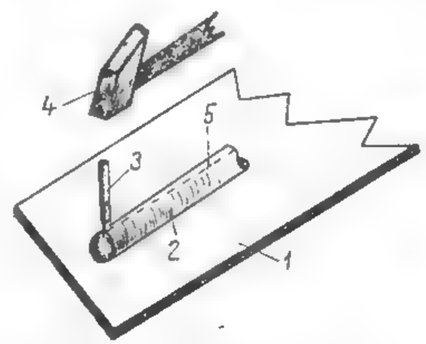


Fig. XII.36. Modul de despicare manuală a carotei după planul axial :
1 — placă metalică ; *2* — carotă ; *3* — daltă ; *4* — ciocan ; *5* — plan axial.

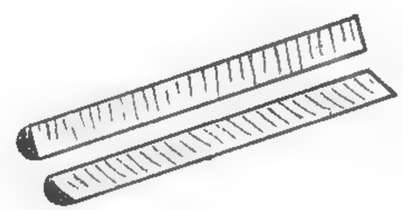


Fig. XII.37. Carotă despicată după un plan axial.

Metoda brazdelor după generatoarele carotelor constă în recoltarea materialului probă dintr-o brazdă sau mai multe, în funcție de gradul de uniformitate a componenților utili, brazde recoltate după generatoarele carotelor (fig. XII.38).

Prelevarea brazdelor se face mecanizat cu discuri acționate mecanic. Se pot recolta brazde din mai multe carote simultan, mărind astfel gradul de operativitate al probării.

Probarea prin brazde prezintă o serie de avantaje în comparație cu metoda injumătățirii axiale, cum ar fi:

— gradul de reprezentativitate mai ridicat, dată fiind adîncimea constantă a brazdei;

— posibilitatea reprobării carotei;

— se reduc substanțial cheltuielile de prelucrare a probei, deoarece materialul probă este sub formă de pulbere;

— productivitatea mare ca urmare a mecanizării complete a operației;

— se obține o greutate a materialului probă de circa 150—200 g;

— partea rămasă din probă este mult mai mare în comparație cu cea de la prima metodă, avînd astfel posibilitatea măririi numărului de cercetări etc.

Fig. XII.38. Secțiune transversală printr-o carotă probată prin metoda brazdelor, după generatoarea acesteia.

Metoda de probare prin reținerea întregii carote se aplică numai în cazul forajelor cu diametru mic, de regulă în cazul celor executate din subteran.

Această metodă constă în reținerea întregii carote de pe lungimea de probare (circa 1 m). Se aplică numai în cazul forajelor executate din subteran, deoarece are marele dezavantaj că nu oferă posibilitatea obținerii de probe martor.

Probarea detritusului se face și în cazul în care proba se compune din carotă + detritus și în cazul în care se compune numai din detritus.

După recoltarea detritusului, acesta se curăță de elemente metalice (provenite din uzura alicelor sau a coroanelor), curățire care se poate face cu ajutorul unui magnet.

În cazul probelor carotă + detritus, materialul care se adaugă la carotă trebuie să aibă același act de identitate. Dacă cantitatea de detritus este de cîteva kilograme, acesta se împachetează împreună cu carota de pe același marș.

Cînd cantitatea de detritus este mare, se constituie proba de detritus prin metoda sfertuirii, avîndu-se în vedere faptul că granulația este destul de mică.

Indiferent de forma sub care este materialul probă, acesta se împachetează în săculeți și împreună cu *actul de identitate* se expediază la laboratorul de analize.

c) *Probarea tehnică* se aplică destul de rar și mai ales în cazurile cînd nu există posibilitatea de a obține informații din lucrări miniere.

În cazul în care se impune și acest mod de probare, probele se iau numai din carote. În funcție de scopul probării tehnice, probele (porțiuni centimetrice de carote) se parafinează, se pun în tuburi închise ermetic sau pur și simplu se pun în pungi de hîrtie.

De regulă, acest mod de probare se aplică în explorarea preliminară, dar și în explorarea de detaliu, cînd nu avem lucrări miniere.

d) *Probarea tehnologică* (faza de laborator) constă în comasarea materialului rămas de la determinările chimice, material provenit din mai multe tronsoane de probare, dar în funcție și de perspectiva de valorificare a mineralizației.

Din foraje se recoltează probe tehnologice numai pentru faza de laborator, ca urmare a cantității mici de material care se obține.

Probele tehnologice, faza de laborator, pot conține material dintr-un singur foraj sau dintr-un grup de foraje, dar din același tip de mineralizație.

Acest mod de probare se aplică numai în explorarea preliminară și rămîne numai cu caracter informativ, ca urmare a gradului mic de reprezentativitate.

4.2. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII ÎN EXPLORARE A FORAJULUI MECANIC PERCUTANT

Forajul mecanic percutant are din ce în ce mai puține întrebuințări în practica explorării geologice. Se folosește mai mult în cazul corpurilor de dimensiuni mari și cu o distribuție cît mai uniformă a componenților utili și mai precis în explorarea în extindere a acestor corpuri.

Diametrul găurii de sondă este mare, începînd de la 100 mm pînă la 600 mm, în raport cu acest diametru fiind și masa materialului de probat extrasă pe un tronson de 1 m, masă care poate să varieze de la zeci de kilograme pînă la sute de kilograme.

În vederea unei probări cît mai reprezentative, trebuie să se țină seama de o seriei de factori cum ar fi:

— probele se iau pe intervale egale (de 1,0—1,5 m) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă și inegale cînd într-un corp apar zone cu diferite omogenități și exploatarea s-ar putea face selectiv, intervalul de probare se stabilește prin încercări experimentale;

— trebuie acordată mare atenție pierderii de detritus, deci unei modificări a raporturilor între minerale din material și cele din mineralizație. În acest sens se face o verificare permanentă prin compararea masei detritusului extras cu cea a detritusului rezultat din calculul teoretic;

— trebuie luate toate măsurile în vederea susținerii găurilor de sondă, cînd este cazul, pentru a împiedica contaminarea materialului de probă;

— înainte de a se trece la recoltarea unei probe, se spală bine talpa sondei pînă ce apa devine limpede și apoi se trece la operația de recoltare a materialului de probă.

Materialul obținut de pe tronsonul în care urmează a se efectua probarea se prezintă sub formă de tulbureală, material care se aduce la suprafață cu lingura de lăcărărit și se pune într-o ladă metalică. Partea solidă din tulbureală, așa cum s-a mai precizat, poate avea o masă de la zeci de kilograme pînă la sute de kilograme. Pentru analizele chimice este nevoie de cantități de cel mult cîteva kilograme. Avînd în vedere acest lucru și faptul că partea solidă din tulbureală are dimensiuni mici, acest material se poate reduce chiar în faza de tulbureală.

Probarea în cazul forajului mecanic percutant are în final două etape distincte: una de extragere a materialului de probat, iar a doua de reducere a acestuia, deci probarea propriu-zisă.

Avînd în vedere forma sub care se prezintă materialul de probat, în cazul forajului percutant se pot recolta trei tipuri de probe:

— probe mineralogice de analiză sub lupa binoculară;

— probe chimice;

— probe tehnologice.

Probele tehnologice se pot recolta pentru încercări în fază de laborator și în fază pilot și se compun din materialul extras de pe un tronson de probare, dintr-un foraj sau de pe anumite porțiuni de mineralizație.

Probele chimice sînt cele mai frecvente și, de regulă, se prelevează ori de cîte ori se execută un asemenea foraj.

Probarea în cazul determinărilor chimice se face prin două procedee, și anume: prin trecerea tulburelii printr-un set de divizoare cu jgheaburi și prin puncte cu un dispozitiv sondă.

— *Procedeul de trecere a tulburelii prin jgheaburi divizoare* este destul de des folosit și constă în trecerea tulburelii din lada metalică prin jgheaburi de dimensiuni din ce în ce mai reduse. Jgheaburile sînt montate în așa fel încît după prima trecere tulbureala

este împărțită în două părți egale, iar după ultimul set de jgheaburi se obține proba pentru analize și proba martor.

— *Procedeul prin puncte* constă în probarea cu ajutorul *dispozitivului-sondă* în lădița de colectare a tulburelii, în circa 5—8 puncte distribuite cît mai uniform pe suprafața lăzii. Dispozitivul sondă se compune dintr-o țeavă prevăzută cu un dispozitiv de închidere la partea inferioară după ce s-a prelevat proba punctiformă, țeavă care prin introducere în poziția verticală în lada cu tulbureală reține o parte din material. Proba finală se compune din circa 5—8 probe punctiforme.

La recoltarea probelor prin puncte se au în vedere următoarele etape:

— omogenizarea tulburelii pînă la fundul lăzii;

— introducerea dispozitivului-sondă în poziție verticală și cu o mișcare cît mai rapidă;

— închiderea dispozitivului (la partea inferioară);

— ridicarea cît mai rapidă a dispozitivului;

— golirea dispozitivului într-un vas care conține proba;

— uscarea probei prin evaporarea apei (naturală sau artificială), avîndu-se în vedere faptul că dacă se folosește evaporarea artificială, temperatura nu trebuie să depășească 100—105°C.

La adîncimi mici ale găurii de sondă, în loc de apă se poate folosi aerul comprimat, dar în acest caz trebuie avută mare atenție la recuperarea prafului.

4.3. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII FORAJUI MANUAL, SEMIMECANIC, ROTATIV ȘI ROTATIV-PERCUTANT ÎN EXPLORAREA GEOLOGICĂ

Forajul manual și în ultima vreme forajul semimecanic uscat (fără fluid de spălare) este din ce în ce mai mult folosit în explorarea geologică a zăcămintelor situate la mică adîncime (< 300 m), zăcăminte de caolin, argile, nisipuri, pietrișuri, diatomite, bentonite etc. Diametrul găurii de sondă este cuprins între 600 mm (diametru inițial) și 50 mm (diametru final). La executarea unui asemenea foraj, de regulă, se folosesc coloane telescopice, începîndu-se de la diametru mare și în final ajungîndu-se la diametre mici.

Tronsonul de probare este cuprins între 0 și 3 m și, de regulă, corespunde cu un marș de înaintare. Probele au o masă de la cîteva kilograme pînă la zeci de kilograme.

În cazul forajului manual probele se iau cu următoarele instrumente, fiecare instrument corespunzînd unui anumit tip de rocă, astfel:

— *burghiul* se folosește la forarea în cazul argilelor sau a altor roci cu friabilitate ridicată, iar proba se obține odată cu scoaterea burghiului; materialul care se desprinde de pe burghiu se așază pe o platformă metalică sau pe o scîndură;

— *borsapa de foraj* este tot un instrument de săpare și curățire a găurii de sondă, utilizîndu-se în cazul terenurilor afînate (nisipuri argiloase, nisipuri etc.); prin rotirea sapei antrenată de garnitura de prăjini, materialul (proba) este desprins de piesa tăietoare de la baza sapei și introdus în corpul sapei, urmînd a fi ridicat la suprafață;

— *lingura de lăcărit* se folosește pentru aducerea materialului la suprafață în cazul în care formațiunea este situată sub nivelul hidrostatic sau cînd s-a făcut o forare hidraulică; materialul probă intră în corpul lingurii (cilindru) pe la partea inferioară, unde aceasta este prevăzută cu o clapetă care la coborîre stă ridicată (deci permite intrarea tulburelii în corpul lingurii), iar la ridicare stă închisă.

Proba este sub formă de tulbureală și parte grosieră, fapt pentru care materialul se pune într-un vas pentru decantare. Din materialul umed se ia proba, ca și în cazul forajului mecanic percutant.

Probele, în cele trei cazuri de extragere, sînt probe tulburate, iar materialul are compoziția medie a formațiunii din intervalul de probare.

Dacă se impune recoltarea de probe netulburate, atunci se folosește *ștuțul*, dispozitiv ce se montează la partea inferioară a garniturii de foraj.

Prin lăsarea garniturii libere ștuțul se înfige în formațiunea de probat (ca urmare a greutății garniturii de foraj), iar prin ridicare la suprafață, fără rotirea garniturii, se obține proba netulburată, care este prinsă în interiorul ștuțului, ce se demontează și se parafinează, după care se expediază la laborator.

Deosebirea între forajul manual și cel semimecanic constă în modul de acționare a garniturii de prăjini.

Pentru evitarea impurificării probei, în toate cazurile posibile se încearcă înfigerea coloanei de tubaj pe cel puțin adîncimea unui tronson de probare, iar cînd se întîlnesc mai multe strate acvifere se izolează fiecare strat cu cîte o coloană, trecîndu-se la stratul următor cu o coloană mai mică.

Așa cum s-a mai menționat, o probă poate fi constituită din tot materialul dintr-un tronson de probare (cînd tronsonul corespunde cu marșul de înaintare) sau din probe parțiale cînd tronsonul de probare este străbătut prin mai multe marșuri — fiecare marș reprezentînd o probă parțială.

În cazul probelor parțiale, acestea se adună pe o platformă metalică sau din scîndură și dacă nu sînt necesare observații geologo-mineralogice pe probe parțiale, probele se comasează, se omogenizează, după care urmează reducerea pînă la o probă de cîteva kilograme, iar restul de material (de la ultima reducere) se pune în lăzi de probe și reprezintă proba martor.

Probele astfel obținute pot servi ca probe mineralogice, probe chimice, probe tehnice și probe tehnologice faza de laborator și chiar pilot.

Probarea în cazul forajelor manuale și semimecanice are marele avantaj că materialul are calități care nu diferă mult de cele din situ, ba mai mult, structura nu este afectată esențial ca urmare a sfărîmării materialului sau a ajungerii lui în contact cu fluidul de foraj.

Forajul manual și semimecanic se folosește mult în recoltarea probelor tehnice, deoarece are marele avantaj că se pot recolta probe netulburate și cu caracteristici tehnice asemănătoare cu cele din situ.

5. PRELUCRAREA PROBELOR GEOLOGICE PENTRU DETERMINAREA CONȚINUTULUI ÎN COMPONENȚI UTILI ȘI DĂUNĂTORI

În vederea determinărilor calitative și cantitative a componenților utili și dăunători dintr-o probă geologică (recoltată în urma explorării geologice), de masă inițială m, care de regulă variază de la cîteva sute de grame pînă la zeci de kilograme, trebuie să se supună proba la un număr de reduceri, ca în final să se obțină o masă finală de cîteva zeci de grame

pînă la sute de grame (după unii autori), masă necesară pentru analize chimice, spectrografice etc. Cantitatea finală este în funcție de numărul de componenți, de necesitatea unei probe martor (pentru analize de control intern și extern) și a unei probe duplicat.

Reducerea masei inițiale la o masă finală trebuie făcută în așa fel încît să nu se diminueze caracterul ei reprezentativ, adică, să se păstreze raportul cantitativ dintre mineralele componente. Această reducere se realizează printr-o serie de operații ca: sfărîmare, măcinare, cernere, omogenizare, reducere, operații înlănțuite și care reprezintă *prelucrarea probelor*.

Operația de prelucrare este cu atît mai complexă cu cît gradul de neomogenitate mineralogică și masa probei sînt mai mari.

Reducerea probei inițiale ar putea fi făcută și prin reducerea granulației probei pînă la dimensiunile necesare pentru analize (0,1—0,07 mm), după care ar urma omogenizarea materialului obținut și, în final, reducerea lui prin înjumătățire pînă la obținerea cantității necesare analizei. Acest mod de reducere are o serie de inconveniente (în special pentru probele de masă mare), cum ar fi:

— cheltuieli mari pentru mijloace tehnice;
— consum mare de energie;
— timp îndelungat pentru prelucrare.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente, în practică se utilizează o serie de scheme de prelucrare a probelor, care au la bază *formula lui Ceciott*:

$$m = k \cdot d^2,$$

în care: k este o constantă ce depinde de tipul de minereu, fiind determinată experimental și tabelată, valoarea sa oscilînd între 0,02 și 1,00 (uneori chiar mai mult);

d — diametrul celor mai mari granule din cadrul probei.

Schemele de prelucrare a probelor urmăresc, în principal, cîteva aspecte cum ar fi:

— menținerea reprezentativității materialului probă în procesul reducerii acestuia;
— reducerea timpului de prelucrare a probei, ca urmare a capacității relativ mici a aparaturii de laborator;
— reducerea costurilor.

Într-un caz concret, pentru o probă ai cărui parametri (m, d și k) se cunosc, se pot stabili:

— gradul de reducere: $r = m/m'$;
— gradul de sfărîmare: $q = d/d'$;
— numărul de reduceri n, care se poate stabili în funcție de r sau de q.

Gradul de reducere se poate stabili astfel:

— după prima reducere $r_1 = m/m_1 = 2 = 2^1$;
— după a doua reducere $r_2 = m/m_2 = 4 = 2^2$;
— după a treia reducere $r_3 = m/m_3 = 8 = 2^3$;
— după n reduceri $r_n = m/m_n = 2^n$,

de unde rezultă că numărul de reduceri n este egal cu puterea lui 2. În formulele de mai sus: m, d reprezintă masa și respectiv diametrul probei inițiale, iar m, m_1, m_2, m_3, ..., ..., m_n, d' sînt parametrii probei reduse în etape diferite.

Pentru întocmirea unei scheme de prelucrare a unei probe se urmăresc următoarele etape:

a) Se verifică dacă proba (de masă m) se poate reduce fără a se modifica granulația minereului (d fiind diametrul maxim al fragmentelor). Pentru această verificare se calculează masa probei reduse, m_r, în funcție de diametrul maxim $d_r = d$, folosindu-se formula lui *Ceciott* ($m_r = kd_r^2$), iar în funcție de gradul de reducere, $r = m/m_r$ se ia o decizie sau alta după cum urmează:

— dacă $r \geqslant 2$ proba se poate reduce fără nici o prelucrare, o dată (dacă $r = 2$), de două ori (dacă $r = 2^2$), de trei ori (dacă $r = 2^3$) etc. În funcție de r (raportul maselor), care poate fi cuprins între limitele: $2^n < r < 2^{n-1}$, iar n este un număr întreg și pozitiv, se obține numărul de reduceri care reprezintă puterea cea mai mică a lui 2;

— dacă $r < 2$ nu se admite reducerea probei fără a fi prelucrată, iar în această situație se trece la a doua etapă.

b) Întocmirea schemei de prelucrare a probei, care cuprinde mai multe faze, în funcție de aparatura laboratorului de prelucrare a probelor. Dacă se are la dispoziție următoarea aparatură:

— concasor cu fălci cu un diametru final de 8 mm;
— concasor cu valțuri cu un diametru final de 2,4 mm;
— concasor cu valțuri cu un diametru final de 1,4 mm;
— moară cu vălătuci cu un diametru final 0,1 mm, schema prelucrării probei va fi cea din fig. XII.39, schemă întocmită după cum se arată în continuare. Deci, dacă proba nu se poate reduce fără prelucrare ($r < 2$), toată cantitatea de probă se trece prin primul aparat (concasorul cu fălci cu diametrul final de 8 mm), după care se calculează din nou masa m_1r la un diametru de $d_1 = 8$ mm și r_1 (teoretic) și se observă între ce limite variază valoarea lui r_1 ($2^{n_1} < r_1 < 2^{n_1+1}$), obținîndu-se în acest mod numărul de reduceri din prima fază (n_{1s}), fără a se diminua caracterul reprezentativ al probei.

După cele n_{1s} reduceri din prima fază (corespunzătoare primului aparat) se trece în faza a doua, care presupune trecerea materialului după a n_{1s} reducere prin concasorul cu valțuri, care are diametrul final $d_2 = 2,4$ mm, iar în final se repetă raționamentul din prima fază, obținîndu-se numărul de reduceri din faza a doua, n_{2o}.

La fel se procedează pentru concasorul cu valțuri cu diametrul final $d_3 = 1,4$ mm, iar cantitatea de material rezultată după a n_{3t} reducere se prelucrează în faza a patra cu moara cu vălătuci $d_4 < 0,1$ mm, urmînd să se procedeze la reduceri succesive, pînă se obține cantitatea de material necesară pentru analiză (care este în funcție de numărul de componenți de determinat și de tipul de analiză). Numărul de reduceri n_{4p} este egal cu numărul de reduceri succesive. Se procedează la reduceri succesive deoarece $d_4 < 0,1$ mm este necesar pentru analize.

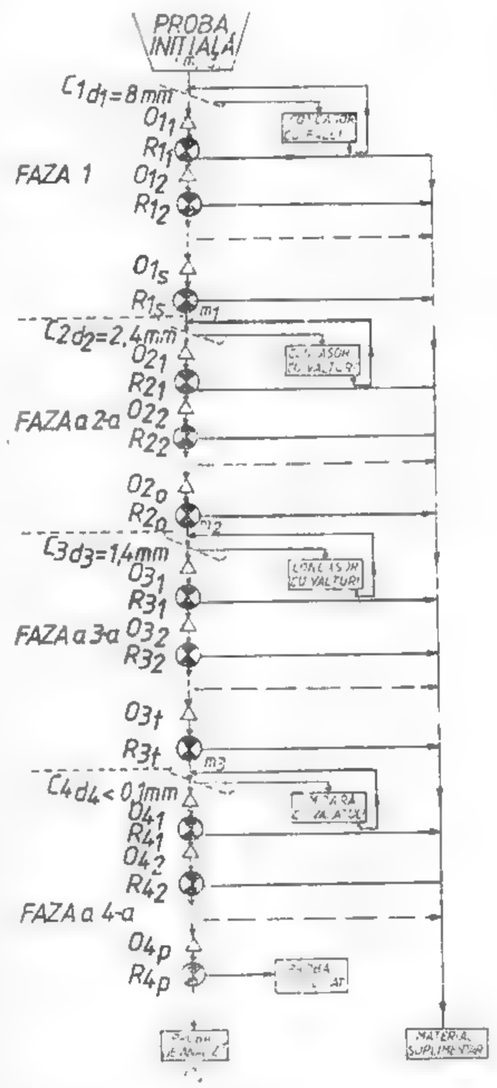


Fig. XII. 39. Schema de prelucrare a unei probe geologice în vederea determinării conținuturilor în elemente chimice:

C_1 — ... C_4 — ciururi; O - omogenizare; R — reducere; s, o, t, p — numărul de omogenizări, respectiv de reduceri din fiecare fază; m_1 ... m_4 — mase reduse după fiecare fază; d_1 ... d_4 — diametrele găurilor ciururilor, respectiv diametrele finale de la aparate.

XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC

Şef lucrări, dr. ing. AURELIAN NEGUŢ

Pentru rezolvarea problemelor prospecțiunii și explorării acumulărilor de substanțe minerale solide, alături de informațiile geofizică și geologică directă obținută prin foraje și lucrări miniere, se folosesc, cu bune rezultate, și datele carotajului geofizic.

Prin denumirea generică de *carotaj geofizic* se înțelege complexul de metode și procedee în care se înregistrează variația unor parametri fizici ai rocilor de-a lungul profilului traversat de forajele efectuate pentru cercetarea diferitelor substanțe minerale utile.

Aplicarea eficientă a metodelor de carotaj geofizic trebuie să aibă în vedere, pe de o parte, varietatea foarte mare a substanțelor minerale utile solide ce prezintă interes practic și, pe de altă parte, contrastul de proprietăți fizice care se poate realiza între acestea și rocile care le găzduiesc.

Unele particularități ale carotajului geofizic pentru minereuri, cărbuni și alte substanțe solide își au originea în însăși caracteristicile sondelor în ceea ce privește diametrul, adîncimea, natura fluidului de foraj folosit, locul sondei (la suprafață sau în subteran) și chiar accesibilitatea la sondă.

Metodele și tehnicile de lucru folosite vizează atît detectarea și delimitarea substanțelor minerale cît și obținerea elementelor necesare pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din rocile cercetate; pentru a fi eficiente, aceste metode și tehnici trebuie să fie integrate rațional în succesiunea normală de prospecțiune și explorare aplicată într-o anumită zonă de lucru.

Principalele probleme puse carotajului geofizic pentru substanțe minerale solide pot fi sintetizate astfel:

— separarea și caracterizarea *in situ* a formațiunilor după natura litologică și corelarea lor;

— detectarea și delimitarea anumitor substanțe minerale în formațiunile traversate prin foraje;

— determinarea grosimii și plasarea limitelor corpurilor de minereu sau zonelor mineralizate și a stratelor de cărbuni; stabilirea poziției lor structurale;

— determinarea tipului de substanță minerală utilă detectată;

— evaluarea cantitativă a conținutului în substanțe utile din minereu și conținutului în cenușă a cărbunilor;

— identificarea și delimitarea formațiunilor acvifere și caracterizarea dinamicii apelor subterane în strînsă legătură cu lucrările miniere de explorare și exploatare;

— estimarea *in situ* a unor parametri fizico-mecanici ai rocilor.

Carotajul geofizic s-a dovedit a fi de un real folos în rezolvarea unor astfel de probleme; în plus, ca metodă indirectă prezintă o serie de avantaje în raport cu metodele directe bazate pe analiza carotelor mecanice și anume:

— dă un profil complet și continuu al formațiunilor, suplinind recuperajul redus și caracterul discontinuu al carotelor;

— datele obținute sînt mult mai reprezentative deoarece măsurătorile geofizice se referă la volume de roci mult mai mari decît cele ale carotelor extrase;

— delimitează cu suficientă precizie zonele mineralizate, corpurile de minereuri, stratele de cărbuni și alte substanțe;

— furnizează datele necesare pentru stabilirea conținutului în substanță utilă al minereurilor sau în cenușă a cărbunilor la un grad de încredere comparabil cu acela obținut din analizele de laborator;

— pe baza parametrilor fizico-mecanici ai rocilor determinați *in situ* și a particularităților hidrogeologice evaluate prin carotaj geofizic, pot fi deduse informații utile necesare pentru optimizarea execuției lucrărilor miniere;

— obținerea tuturor informațiilor într-un timp relativ scurt și la costuri mai reduse.

1. PRINCIPIILE DE BAZĂ ALE METODELOR DE CAROTAJ GEOFIZIC APLICATE ÎN GEOLOGIA MINIERĂ

În problemele de geologie minieră se aplică în prezent un complex de metode și tehnici de carotaj geofizic care au la bază variația proprietăților fizice ale rocilor și substanțelor minerale utile căutate. Aceste proprietăți fizice au fost deja prezentate pe larg în capitolul referitor la Prospecțiunea geofizică.

Pentru înregistrarea variației parametrilor fizici în funcție de adîncime, în multiplele variante de carotaj geofizic se folosește o aparatură automată complexă constituită din două părți: *aparatura de sondă* și *aparatura de suprafață*. Legătura dintre ele este realizată prin intermediul cablului de carotaj multiconductor cu armătură metalică.

Semnalele electrice obținute de la traductorii din aparatura de sondă sînt transmise prin cablu, prelucrate în aparatura de suprafață și înregistrate, în urma unei calibrări corespunzătoare, sub formă de curbă continuă în funcție de adîncime.

Multiplele condiții întîlnite la cercetarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide (zone greu accesibile, sonde săpate din subteran etc.) au făcut ca aparatura de carotaj geofizic de mică adîncime să fie realizată sub formă portabilă.

1.1. CAROTAJUL DE REZISTIVITATE APARENTĂ

Domeniul foarte larg de variație al rezistivității electrice a rocilor în funcție de natura lor litologică, precum și de conținutul în apă și minerale conductoare, face posibil aplicarea cu mare eficiență a metodei la cercetarea zăcămintelor de minereuri. Există mai multe procedee practice care se aplică în prezent sau care au aplicații potențiale în acest domeniu.

1.1.1. CAROTAJUL OBIŞNUIT (STANDARD)

Constă în măsurarea rezistivității aparente cu dispozitive potențiale și gradiente, prin crearea unui cîmp electric care se deplasează de-a lungul sondei și măsurarea unei diferențe de potențial între două puncte ale mediului cercetat.

Schemele principale de măsurare folosind dispozitive potențiale sau gradiente sînt indicate în fig. XIII.1.

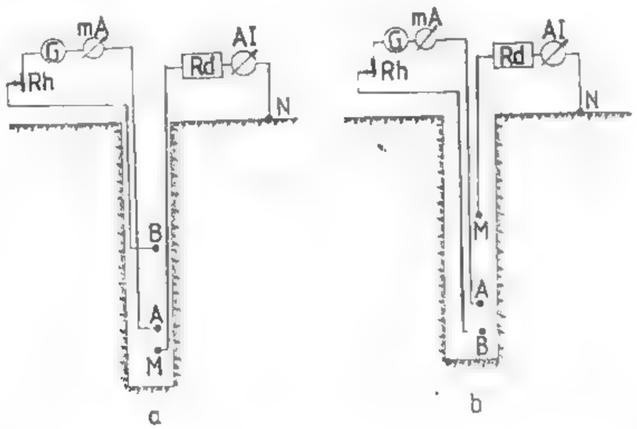


Fig. XIII.1. Schemele principiale de măsurare utilizate în carotajul electric obișnuit:

a — dispozitiv potențial; *b* — dispozitiv gradient.

În înregistrările curente se preferă folosirea dispozitivelor bipolare care permit înregistrarea simultană a curbelor de rezistivitate și PS.

Rezistivitatea măsurată ρ_A se calculează cu relația:

$$\rho_A = K \frac{\Delta V}{I}$$

în care K, constanta dispozitivului, depinde numai de configurația geometrică a acestuia.

De obicei, în fiecare sondă se înregistrează două curbe de rezistivitate: una cu dispozitiv potențial (curba potențială) și una cu dispozitiv gradient (curba gradientă). În general, cele două curbe prezintă valori diferite datorită volumelor de rocă implicate în măsurătoare, în funcție de raza de investigație a dispozitivelor utilizate. Obișnuit, volumul investigat cu dispozitivul potențial este mai mic decît cel investigat cu dispozitivul gradient. Diferențierea valorilor de rezistivitate înregistrate cu cele două dispozitive în fața aceleiași roci se explică prin influența fluidului de foraj din sondă și efectul pătrunderii acestuia în rocile poroase-permeabile traversate.

Pentru a putea efectua un carotaj electric obișnuit, sonda trebuie să conțină fluid de foraj; în sondele uscate, săpate cu aer, carotajul electric obișnuit nu se poate aplica.

În principiu, dispozitivele folosite trebuie să asigure o rază de investigație suficient de mare și o bună rezoluție verticală. Rezoluția pe verticală ce trebuie asigurată de dispozitivele alese este strîns legată de grosimea minimă a stratelor sau zonelor mineralizate care prezintă interes practic.

Pentru înregistrarea rezistivității aparente se utilizează atît dispozitivele B2A03, M (potențial) și M2A0, 3 B (gradient) uzuale la investigarea sondelor săpate pentru hidrocarburi, cît și dispozitivele reduse B0, 5A0, 1 M (potențial) și M0, 5A0, 1B (gradient); acestea din urmă permit separarea cu mai mare precizie a stratelor sau zonelor mineralizate cu grosime mai mică.

1.1.2. CAROTAJUL CU CURENȚI FOCALIZAȚI.

Principial, metoda constă în investigarea mediului sondei cu ajutorul unui cîmp electric creat de un curent dirijat aproape normal pe peretele sondei sub forma unui fascicul, printr-un sistem adecvat de focalizare. Pe această cale se realizează reducerea substanțială a influenței noroiului din sondă și a stratelor adiacente, influență ce putea avea o pondere mare în carorajul electric obișnuit.

Dintre dispozitivele focalizate, la investigarea sondelor de minereuri, cărbuni, săruri minerale se recomandă utilizarea dispozitivelor cu trei electrozi alungiți (fig. XIII.2). Prin electrodul central A_0 se trimite un curent de intensitate I_0, iar prin electrozii A_1 și A_2 scurtcircuitați un curent de intensitate I_1 și de aceeași polaritate cu I_0. Curentul I_1 se reglează automat în raport cu I_0 astfel ca potențialul electrozilor A_1 și A_2 să se mențină la potențialul electodului A_0. În felul acesta este asigurată așa numita *condiție de focalizare*.

Lățimea pînzei de focalizare este aproximativ egală cu lungimea dispozitivului și determină grosimea minimă a stratelor care pot fi precis delimitate, fără o influență importantă a stratelor adiacente.

Dispozitivele focalizate reflectă litologia generală a formațiunilor traversate și separă foarte bine stratele subțiri. Cu ajutorul carotajului cu curenți focalizați pot fi localizate foarte bine zonele cu fracturi în rocile compacte, zonele de alterație, zonele mineralizate, stratele de cărbuni, stratele de sare, săruri de potasiu ș.a.

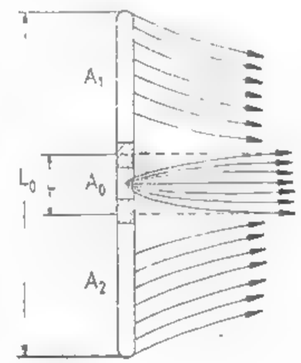


Fig. XIII.2. Schema de principiu a dispozitivului focalizat LL_3:

A — electrod principal; A_1, A_2 — electrozi de focalizare; *L* — lungimea dispozitivului; *L* — lungimea totală.

1.1.3. CAROTAJUL INDUCTIV

Principial, carotajul inductiv constă în următoarele: printr-o bobină transmițătoare (*T*) montată pe un suport izolant, se trimite un curent alternativ de o anumită frecvență. Cîmpul magnetic variabil produs de bobină (cîmp magnetic primar sau direct) dă naștere la curenți induși cu parcurs circular în formațiunile traversate. Curenții induși — a căror intensitate este proporțională cu conductivitatea formațiunilor — creează un cîmp magnetic secundar care induce o f.e.m. într-o bobină receptoare (*R*) (fig. XIII. 3). situată la distanța *L* (lungimea dispozitivului) de bobina transmițătoare. Semnalul înregistrat este proporțional cu conductivitatea formațiunii în care se află dispozitivul.

Majoritatea dispozitivelor moderne de carotaj inductiv sînt dispozitive cu mai multe bobine, așa-numitele *dispozitive focalizate*; aceste dispozitive au o mai bună rezoluție verticală și o rază de investigație mai mare.

Domeniul optim de aplicabilitate al carotajului inductiv este oferit de sondele care conțin un fluid de foraj cu rezistivitate mare (fluide negre, cu adaos de petrol) sau sondele uscate, întîlnite uneori la explorarea substanțelor minerale solide.

Carotajul inductiv, datorită rezoluției verticale foarte bune a dispozitivelor utilizate, delimitează cu precizie intervalele din gaura de sondă, mai ales cele conductoare cum sînt zonele mineralizate.

1.1.4. METODA CAROTAJULUI DE CURENT

Dacă de-a lungul profilului sondei se deplasează un electrod *A* conectat la o sursă de curent continuu, curentul care trece în mediul înconjurător variază în funcție de rezistivitatea mediilor traversate de sondă. Acesta este principiul care stă la baza metodei carotajului de curent cînd electrodul se deplasează pe axa sondei (fig. XIII.4 *a*) sau este fixat pe o patină (fig. XIII.4, *b*), în varianta denumită *contacte alunecătoare*.

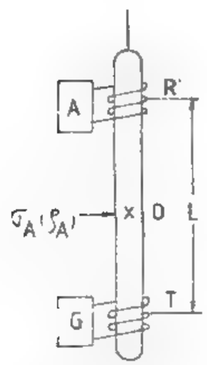


Fig. XIII.3. Schema principială a unui dispozitiv de carotaj inductiv cu două bobine.

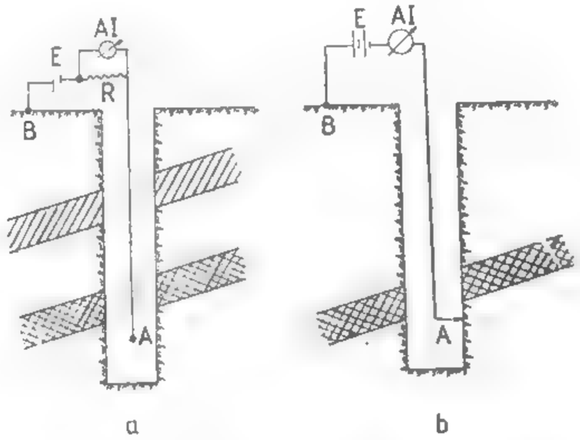


Fig. XIII.4. Schemele principiale de măsurare în metoda carotajului de curent:

a — electrod centrat pe axa sondei; *b* — electrod la peretele sondei (contacte alunecătoare).

Metoda carotajului de curent este indicată în zonele în care există contraste mari de rezistivitate între rocile care compun profilul sondei. Stratele care posedă o rezistivitate mică (zone cu mineralizații, antracite, roci argiloase, zone alterate) se remarcă prin maxime pe curbele carotajului de curent; stratele cu rezistivitate mare (gresii compacte calcare, roci eruptive) corespund la minime pe curbele carotajului de curent.

Pentru a reduce influența noroiului de foraj din sondă se recomandă aplicarea variantei contactelor alunecătoare. La contactul electrodului cu corpul de minereu sau roca cu rezistivitate foarte mică, rezistența de prizare a electrodului scade brusc și, ca urmare, crește curentul în circuit, ceea ce se înregistrează cu aparatul de măsură. De aceea rocile cu conductibilitate electronică, în special zonele cu minereuri, se remarcă prin indicații mărite pe diagrama obținută cu această metodă.

1.1.5. CAROTAJUL ELECTRIC CU MICRODISPOZITIVE SAU MICROCAROTAJUL

Este utilizat în practica cercetărilor geofizice în sonde ca mijloc de separare precisă a stratelor subțiri, de evidențiere a formațiunilor poroase și permeabile și evaluarea proprietăților lor colectoare.

Microcarotajul obișnuit constă în măsurarea rezistivității rocilor cu ajutorul unui dispozitiv cu trei electrozi coliniari, fixați pe o patină izolantă ce freacă pe peretele sondei. Electrozii sînt situați la distanțe egale de 2,5 cm. Cu acest sistem de electrozi se pot realiza două microdispozitive (fig. XIII.5):

— un microdispozitiv potențial $AM_a = 0{,}05$ m;

— un microdispozitiv gradient $AO = 0{,}0375$ m.

Se înregistrează simultan două curbe de rezistivitate, care se raportează la volume mici de rocă situate în imediata vecinătate a peretelui sondei.

În afară de microcarotajul obișnuit, în prezent se utilizează și *microcarotajul cu curenți focalizați* (Microlaterolog) pentru cercetarea sondelor săpate cu noroaie mineralizate (sondele de explorare a sărurilor solubile — sare gemă, săruri de potasiu și magneziu) și a sondelor care traversează roci predominant rezistente (calcare, roci compacte eruptive și metamorfice).

Microcarotajul poate fi utilizat în sondele de minereuri și alte substanțe minerale solide, pentru delimitarea exactă a acestora, localizarea zonelor de fracturi, delimitarea stratelor poroase-permeabile și evaluarea porozității lor. Acestea pot fi strate acvifere care urmează a fi izolate în procesul de deschidere și exploatare a zăcămintelor.

1.1.6. ELECTROMETRIE DE SONDĂ ÎN CURENT CONTINUU

Sondele săpate pentru explorarea minereurilor, care au intersectat sau nu mineralizația, pot fi utilizate pentru măsurători combinate în diferite sisteme pentru rezolvarea următoarelor probleme geologice-miniere:

— prospectarea și evidențierea zonelor mineralizate adînci în spațiul din apropierea sondei;

— detectarea corpurilor de minereu care se găsesc mai jos de talpa sondei;

— determinarea poziției corpurilor de minereu în spațiul dintre sonde și corelarea zonelor mineralizate intersectate în sonde vecine;

— precizarea configurației geoelectrice în spațiul dintre sonde.

Variantele utilizate diferă prin poziția electrozilor de alimentare și de măsură. Sînt trei grupe de procedee de măsurare, care se pot defini, convențional, astfel:

Procedeul „sondă-suprafață", în care electrodul de alimentare A este plasat în sondă și măsurarea potențialului sau gradientului de potențial se efectuează la suprafață, după sistemul profilelor liniare (fig. XIII.6).

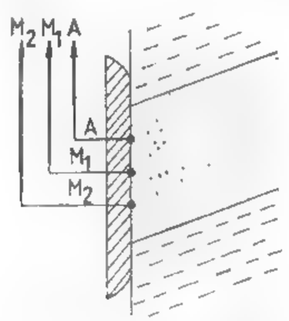


Fig. XIII.5. Schema de principiu a patinei dispozitivului de microcarotaj obișnuit

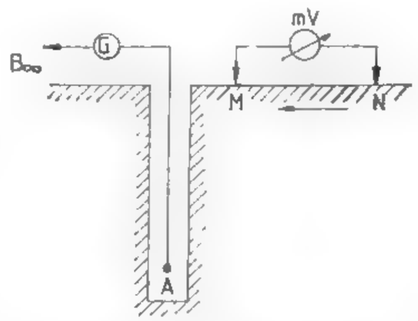


Fig. 6. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-suprafață".

Procedeul „sondă-sondă". Unul din electrozii de alimentare se coboară în sondă, iar celălalt se află la suprafață, la mare distanță de sondă ($B\infty$), măsurătoarea efectuîndu-se într-o sondă vecină sau cîteva sonde, situate pe un profil sau profile vecine (fig. XIII. 7). Un caz particular este considerat acela cînd ambii electrozi de alimentare sînt situați în aceeași sondă, formînd un dipol. De asemenea, prezintă interes varianta în care electrozii de alimentare și de măsură din sonde vecine se deplasează sincron.

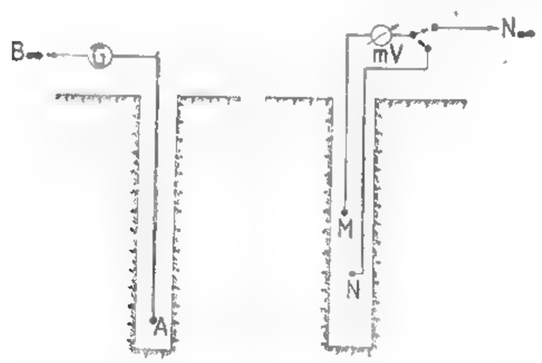


Fig. XIII. 7. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-sondă".

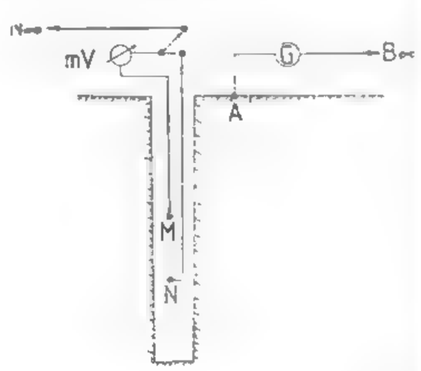


Fig. XIII. 8. Schema principială de măsurare în varianta „suprafață-sondă".

Procedeul „suprafață-sondă". Constă în amplasarea ambilor electrozi de alimentare la suprafață: unul în imediata vecinătate a sondei în care se efectuează măsurătorile, celălalt la mare distanță (fig. XIII. 8). Pentru efectuarea lucrărilor este suficient a avea o singură sondă.

Procedeele indicate au unele limitări care derivă din particularitățile unei anumite acumulări de substanțe minerale: pe lîngă mineralizația propriuzisă pot apărea și alte corpuri conductoare care corespund zonelor de tectonizare, zonelor puternic transformate hidrotermal sau șisturilor argiloase-grafitoase.

1.2. CAROTAJUL POTENȚIALELOR NATURALE SAU SPONTANE

Rocile posedă proprietatea de a crea, la contactul dintre ele și mai ales la contactul cu fluidul de foraj, un cîmp electric de polarizație naturală. Potențialele electrice naturale sau spontane măsurate în sonde se datoresc următoarelor procese fizico-chimice:

— *procesul de difuzie* a ionilor sărurilor dizolvate în apele de strat în noroiul de foraj sau invers;

— *procesul de adsorbție* selectivă a ionilor de un anumit semn la suprafața particulelor de rocă sau la peretele capilarelor.

Cele două procese menționate sînt de fapt laturi ale procesului complex de difuzie-adsorbție;

— *procesul de filtrație sau curgere* a unui fluid (apă de strat, filtrat de noroi prin capilarele sau fisurile rocilor traversate de sondă;

— *procesul de oxidare-reducere* a unor compuși minerali conținuți de rocile traversate de sondă.

Pentru rocile care interesează în explorarea majorității zăcămintelor de minereuri (roci metamorfice și magmatice), procesele de difuzie-adsorbție sînt de mică intensitate, astfel încît rocile nu se diferențiază între ele. Potențialele de difuzie-adsorbție pot să devină importante atunci cînd zăcămintele de minereuri sînt găzduite de roci sedimentare sau în vecinătatea contactului rocilor sedimentare cu magmatite.

Potențialele de filtrație pot fi întîlnite în sonde în zonele fisurate și în zonele poroase-permeabile cu proprietăți colectoare. La cercetarea zăcămintelor de minereuri cu ajutorul potențialelor spontane măsurate în sonde, componenta de filtrație este considerată o componentă perturbatoare.

Cel mai mare interes pentru cercetarea zăcămintelor de minereuri prezintă potențialele naturale care iau naștere prin procese de oxidare reducere, în fapt, procese electrochimice la limita dintre medii cu conductibilitate electronică (minereuri de cupru, polimetalice, oxizi) și medii cu conductibilitate ionică. În general, intervalele corespunzătoare unor astfel de mineralizații se caracterizează prin anomalii electropozitive pe curbele de PS.

Măsurarea PS și gradientului de PS. Schema principială de măsurare a PS este indicată în fig. XIII.9. Un electrod de măsură M se deplasează de-a lungul sondei și se înregistrează continuu diferența de potențial dintre acesta și un al doilea electrod N de potențial constant, fixat la suprafață. De obicei, curba de PS se înregistrează simultan cu curbele de rezistivitate aparentă, cînd se folosesc dispozitive bipolare.

Curba gradientului de PS se poate înregistra simultan cu curba de rezistivitate cînd se utilizează dispozitive monopolare, sau cu dispozitive separate (fig. XIII.10) la care se schimbă distanța dintre electrozii M și N. În țara noastră, la înregistrarea gradientului de PS se utilizează următoarele distanțe dintre electrozii de măsură ai dispozitivului: MN = 0,1; 0,5; 1 și 2 m.

1.3. CAROTAJUL POTENŢIALELOR PROVOCATE

Principial, metoda constă în măsurarea potenţialelor de polarizaţie provocată observabile după întreruperea curentului de excitaţie pulsat sau semipulsat trimis în mediu.

Potenţialele provocate sînt datorate proceselor electrochimice care au loc la limita mediilor cu conductibilitate electronică şi ionică şi la limita mediilor cu conductibilitate ionică şi dielectrice. Intensitatea polarizaţiei provocate se caracterizează prin mărimea

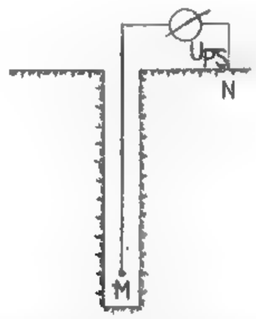


Fig. XIII.9. Schema principială de măsurare a PS.

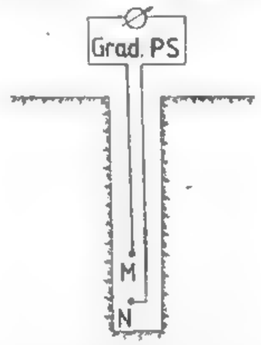


Fig. XIII10 Schema principială de măsurare a gradientului de PS.

numită *polarizabilitate*. Polarizabilitatea rocilor depinde de porozitate, umiditate, concentraţia sărurilor dizolvate în apa din pori, conţinutul în minerale conductoare, dimensiunile particulelor de rocă. În absenţa mineralelor conductoare polarizabilitatea este mică nedepăşind 1—2%.

Mineralele cu conductibilitate electronică prezente în rocă modifică în mod esenţial polarizabilitatea. S-a constatat, de exemplu, că sulfuri disperse, chiar în proporţie de 1% din volumul rocii, determină creşterea polarizabilităţii la 2—3%.

Carotajul potenţialelor provocate poate fi aplicat în două variante:

a) măsurători cu folosirea unei sonde (electrozii de polarizare şi de recepţie în aceeaşi sondă);

b) măsurători cu folosirea a două sonde (electrodul de alimentare fixat într-o sondă şi electrozii de recepţie deplasaţi în altă sondă).

Carotajul potenţialelor provocate s-a dovedit util în evidenţierea şi localizarea zăcămintelor de minereuri diseminate şi masive, corelarea zonelor de minereu (mai ales în cazul mineralizaţiilor de impregnaţie) întîlnite în mai multe sonde, cercetarea mediului geologic dintre sonde.

1.4. CAROTAJUL RADIOACTIV

Metodele de carotaj radioactiv ocupă în prezent un loc important în investigarea sondelor săpate pentru substanţe minerale utile solide, furnizînd informaţii care nu se pot obţine cu alte metode de cercetare a sondelor.

1.4.1. CAROTAJUL RADIAŢIEI GAMA NATURALE

Constă în măsurarea variaţiei radioactivităţii naturale a rocilor condiţionată de conţinutul în radioelemente aparţinînd seriilor radioactive ale uraniului ($_{92}U^{235}$, $_{92}U^{238}$)

thoriului ($_{90}Th^{232}$) precum şi izotopului iradioactiv al potasiului ($_{19}K^{40}$). O contribuţie mai mică o au rubidiul şi cîteva elemente din seria pămînturilor rare.

Radiaţiile gama emise de radioelementele naturale diferă atît ca număr cît şi ca energie caracteristică. Spectrul energetic permite identificarea, cu mare precizie, a elementului existent în rocă.

În funcţie de tipul lor, radioactivitatea naturală a rocilor variază în limite largi. Dintre rocile magmatice, cele acide au cea mai mare radioactivitate, în timp ce rocile bazice şi ultrabazice au un nivel mai scăzut de radioactivitate. Rocile sedimentare prezintă radioactivităţi variabile. Gresiile şi nisipurile au radioactivităţi foarte scăzute în timp ce argilele prezintă radioactivităţi mari datorită atît conţinutului în potasiu cît şi adsorbţiei radioelementelor din apele mineralizate. Foarte radioactive sînt argilele bituminoase datorită afinităţii preferenţiale a radioelementelor faţă de coloizii organici. Rocile carabonatice (calacre şi dolomite) au o radioactivitate scăzută.

Cărbunii şi depozitele hidrochimice (gips, anhidrit, sare)au cea mai mică radioactivitate. Dintre depozitele hidrochimice fac excepţie sărurile de potasiu (silvină, carnalit, kainit, polihalit, langbeinit) care prezintă radioactivităţi mari. De asemenea, se întîlnesc în practică strate de cărbuni radioactivi.

Schema principială de măsură a carotajului gama este prezentată în fig. XIII.11. În aparatul de sondă se plasează un detector de radiaţii gama (*D*), care poate fi de tip Geiger-Müller sau de scintilaţie, şi se înregistrează variaţia radioactivităţii în profilul traversat.

Carotajul gama serveşte în primul rînd ca metodă de diferenţiere litologică a rocilor şi de corelare la scară locală sau regională.

În sondele săpate pentru minereuri, carotajul gama asigură, pe de o parte, diferenţierea rocilor magmatice de cele metamorfice şi sedimentare, iar pe de altă parte, în cadrul rocilor magmatice separarea rocilor acide de cele bazice şi ultrabazice.

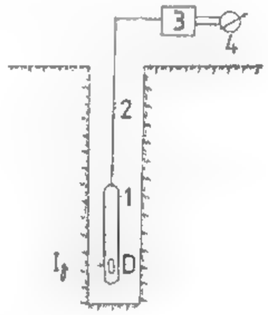


Fig. XIII.11. Schema principială de înregistrare a radiaţiei gama naturale:

1 — dispozitivul de sondă; *2* — cablu; *3* — sistem de prelucrare a semnalului; *4* — aparat înregistrator.

1.4.2. CAROTAJUL RADIAŢIEI GAMA DISPERSATE

Metoda este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama* şi constă în iradierea formaţiunilor traversate cu un flux de radiaţii gama şi înregistrarea radiaţiei gama rezultate ca efect al interacţiunii cu mediul, aşa-numita *radiaţie gama dispersată*.

Radiaţia gama rezultată este o funcţie de numărul atomic *Z* al substanţei traversate şi de energia radiaţiei gama incidente. Cînd se folosesc surse de radiaţii gama de energie mare ($E = 0{,}6 - 1{,}5$ MeV), radiaţia gama dispersată înregistrată este o funcţie de densitatea formaţiunilor. De aceea, acest tip de carotaj mai este cunoscut şi sub denumirea de *carotaj gama-gama de densitate*. Dacă se folosesc surse de radiaţii gama cu energie mică, intensitatea radiaţiei gama înregistrate depinde în cea mai mare măsură de absorbţia radiaţiilor gama prin efect fotoelectric. Acest efect creşte foarte mult la creşterea numărului atomic al elementelor conţinute în mediu; elemente ca Bi, W, Pt, Au, Ag, Pb, Hg au o mare influenţă asupra răspunsului metodei. Deoarece pe această bază este posibil să se evidenţieze zonele din profil cu conţinut în astfel de elemente, varianta de carotaj în care

se utilizează surse gama de energie mică este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama selectiv*.

Măsurarea radiației gama dispersate în gaura de sondă este realizată cu ajutorul unui dispozitiv presat pe peretele sondei în care detectorul și sursa de radiații mai sînt separate de un ecran de plumb pentru absorbția radiației gama directe (fig. XIII.12). Sursele de radiații gama folosite sînt: Co^{60} și Cs^{137} în carotajul gama-gama de densitate și Se^{75} în carotajul gama-gama selectiv.

Carotajul gama-gama selectiv aplicat în paralel cu carotajul gama-gama de densitate poate furniza informații utile la cercetarea sondelor săpate pentru minereuri de fier, mangan, cupru, nichel, crom, wolfram, molibden și sulfuri polimetalice.

1.4.3. CAROTAJUL NEUTRON-GAMA

Carotajul neutron-gama constă în bombardarea rocilor traversate de sondă cu neutroni și măsurarea intensității radiației gama de captură a neutronilor de către anumite elemente chimice conținute în rocă.

Captura neutronilor de către atomii substanței prin care trec are loc, în majoritatea cazurilor, la energii termice ale neutronilor.

Intensitatea radiației gama de captură depinde de conținutul în hidrogen al mediului și de distanța sursă-detector (lungimea dispozitivului). Pentru dispozitivele utilizate în practică, rocile cu conținut mic în hidrogen (rocile compacte magmatice, metamorfice și sedimentare) se manifestă prin valori mari, iar rocile cu conținut mare în hidrogen (rocile poroase, fisurate saturate cu fluide, rocile argiloase, rocile alterate) prin valori mici pe curbele neutron-gama.

O importantă captură a neutronilor se constată la traversarea intervalelor cu sare. Aceasta se explică prin secțiunea mare de captură a atomului de clor pentru neutroni termici (33 barni), la care se adaugă secțiunea de captură a sodiului (0,5 barni).

Neutronii pot fi puternic captați și de rocile care conțin bor, litiu, cadmiu, cobalt, mangan, vanadiu ș.a., elemente care au, de asemenea, secțiune mare de captură.

Măsurarea radiației gama de captură se realizează cu ajutorul unui aparat de sondă care cuprinde sursa de neutroni și detectorul de radiații. Cele două elemente sînt separate de un ecran de plumb (fig. XIII. 13).

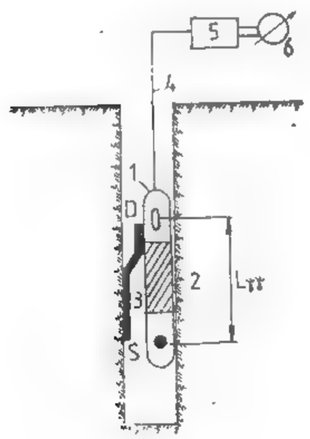


Fig. XIII.12. Schema principială a carotajului gama-ga ma:

1 — dispozitivul de sondă; *2* — ecran de plumb; *3* — patina de presare pe peretele sondei; *4* — cablu; *5* — sistem de prelucrare a semnalului; *6* — aparat înregistrator.

Ca surse de neutroni se folosesc:

a) *surse izotopice* — amestecuri de Ra, Po, Pu, Am cu Be. Primele joacă rol de emițători de radiații alfa cu care se bombardează beriliul, din reacția nucleară care are loc rezultînd neutroni. O sursă izotopică particulară este Cf^{252} care emite neutroni prin fisiune spontană cu un flux foarte mare. Datorită fluxului mare de neutroni și foarte stabil, timpului de înjumătățire mare ($T = 265$ ani), californiul este o sursă ideală în carotajul radioactiv, mai ales în carotajul activării;

b) *generatori de neutroni*, acceleratori de particule în care producerea neutronilor are la bază reacția nucleară între izotopii grei ai hidrogenului (deuteriu și tritiu).

Folosirea generatorilor ca surse de neutroni elimină dependența mărimii măsurate de variația fluxului de neutroni al sursei, așa cum se întîmplă la sursele izotopice. În plus, generatorii de neutroni pot fi construiți să lucreze în regim de impulsuri.

Carotajul neutron-gama rezolvă problema separării rocilor din profilul sondei după conținutul lor în hidrogen, fiind o măsură a porozității totale a rocilor.

Se aplică la cercetarea sondelor de minereuri, cărbuni și săruri minerale; înregistrarea spectrului radiației gama de captură dă posibilitatea utilizării metodei pentru determinarea și evaluarea diferitelor tipuri de minerale utile.

1.4.4. CAROTAJUL NEUTRON-NEUTRONIC

Carotajul neutron-neutronic constă în bombardarea formațiunilor traversate de sondă cu neutroni și înregistrarea neutronilor, cu un anumit nivel de energie, care ajung la detector.

În funcție de energia neutronilor înregistrați se disting două variante ale carotajului neutron-neutronic:

— carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici;

— carotajul neutron-neutronic cu neutroni epitermici (supratermici).

În *carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici* se înregistrează neutronii ajunși la energie termică în interacțiunea cu mediul. Densitatea de neutroni termici este determinată de conținutul în hidrogen al formațiunii, mineralizarea apelor de strat, în special conținutul în clor și alte elemente care se comportă ca absorbanți puternici pentru neutroni termici.

Răspunsul *carotajului neutron-neutronic cu neutroni epitermici* este condiționat îndeosebi de conținutul în hidrogen al mediului și nu depinde practic de mineralizarea apelor de strat. Astfel, carotajul nn-e oferă o cale deosebit de favorabilă pentru evaluarea cantitativă a porozității rocilor.

Densitatea fluxului de neutroni epitermici poate fi influențată de proprietățile de captură ale mediului numai în cazul cînd acesta conține elemente cu secțiune mare de captură în domeniul energiilor supratermice cum ar fi: Li, B, Mn, Co, Ag, Cs, Ir, Au, Hg ș.a..

Măsurarea fluxului de neutroni termici și epitermici se realizează prin introducerea în sondă a unui dispozitiv în care se plasează sursa (*S*) și detectorul de neutroni (*D*) (fig. XIII. 14). În carotajul neutron-neutronic, ca detectori de neutroni se folosesc contori cu gaz (contori proporționali) sau contori cu scintilații. Ambele tipuri de contori conțin bor.

La cercetarea sondelor de explorare a substanțelor minerale utile solide, carotajul neutron-neutronic este inclus în programele de investigare pentru minereuri, în special pentru cele cu elemente cu secțiune mare de captură, cărbuni și săruri minerale.

1.4.5. CAROTAJUL FOTONEUTRONIC

Carotajul fotoneutronic, denumit și *carotaj gama-neutronic* constă în bombardarea rocilor cu radiații gama și măsurarea densității neutronilor care se produc în roci în urma interacțiunii radiației gama cu anumite elemente. Reacția fotoneutronică are loc numai

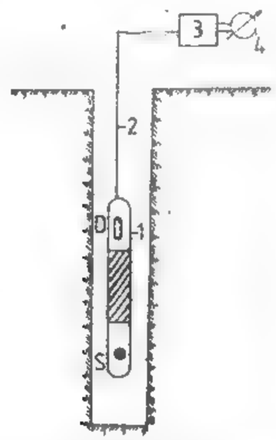


Fig. XIII.13. Schema principială a carotajului neutron-gama:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — cablu; 3 — sistem de prelucrare a semnalului; 4 — aparat înregistrator.

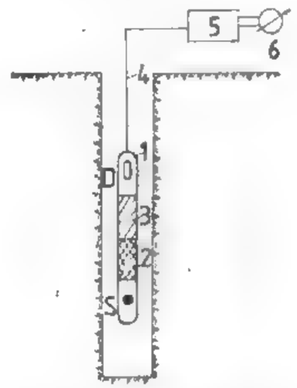


Fig. XIII. 14. Schema principială a carotajului neutron-neutronic:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — ecran de plumb; 3 — ecran pentru neutroni; 4 — cablu; 5 — sistem de prelucrare a semnalului; 6 — aparat înregistrator.

dacă energia cuantelor gama depășește energia de prag, numeric egală cu energia de legătură a neutronilor în nucleu. Pentru majoritatea elementelor energia de prag este cuprinsă în domeniul 8 — 16 MeV, cu excepția beriliului și deuteriului care au energii de prag relativ mici, egale, respectiv cu 1,63 și 2,23 MeV.

În practică, metoda este utilizată pentru detectarea și evaluarea beriliului din roci.

Aparatul de sondă este analog cu cel utilizat pentru carotajul gama-gama, cu deosebirea că se utilizează detector de neutroni. Ca sursă de radiații gama se folosește Sb^{124}.

Metoda s-a dovedit a fi foarte sensibilă, chiar la conținuturi relativ mici ale beriliului în roci.

1.4.6. CAROTAJUL ACTIVĂRII NEUTRONICE

Carotajul activării neutronice are la bază fenomenul că la bombardarea rocilor traversate cu un flux de neutroni, anumite elemente care intră în compoziția rocilor și mineralelor devin radioactive, se activează. Ceea ce se măsoară este radiația gama emisă de nuclizii radioactivi formați din izotopi stabili.

Izotopii radioactivi formați în mediu la iradierea cu neutroni au un timp de înjumătățire relativ scurt, de la cîteva secunde la cîteva ore. Energia radiațiilor gama emise — radiația gama de activare — diferă de la un element la altul, fiind o mărime caracteristică.

Principial, dacă se cunosc timpii de înjumătățire ai izotopilor formați, intensitatea și, eventual, spectrele radiației gama emise, se pot determina elementele inițiale din care iau naștere acești izotopi. Cunoscînd elementele din mediu care au fost activate se pot trage concluzii asupra compoziției mineralogice a mediilor din profilul sondei.

Timpul de iradiere cu neutroni și momentul înregistrării radiației gama de activare trebuie să fie selectate în mod corespunzător, pentru a crea activitatea maximă posibilă a elementului căutat pe un fond cît mai mic produs de alte elemente.

Carotajul de activare neutronică se aplică în două variante de bază:

a) *carotajul activării continue*, utilizat pentru studierea elementelor din care se formează izotopi radioactivi cu timp de înjumătățire scurt ($_{13}Al^{28}$, $T = 2{,}27$ min; $_{23}V^{52}$, $T = 3{,}9$ min; $_{19}F^{20}$, $T = 12$s) și la evaluarea conținutului elementelor cu secțiune mare de activare în roci și minerale;

b) *carotajul activării în stații (puncte)*, utilizat la studierea elementelor care dau naștere la izotopi cu timp de înjumătățire lung, de ordinul orelor ($_{25}Mn^{56}$, $T = 2{,}6$ ore) sau la detectarea elementelor cu secțiune mică de activare.

Carotajul activării se efectuează, de regulă, pe intervale selectate din profilul sondei; alegerea acestor intervale se face după diagrafia geofizică efectuată în prealabil în sondă cu alte procedee carotaj. Pe intervalele alese este necesar să se cunoască radioactivitatea naturală a rocilor, lucru posibil prin efectuarea unui carotaj gama înainte de bombardarea rocilor cu neutroni.

Metoda activării se poate utiliza fie urmărind formarea unui izotop radioactiv al elementului de cercetat, fie formarea unui alt element genetic legat de elementul căutat. Un exemplu tipic este activarea argintului pentru zăcămintele auro-argentifere, cu posibilitatea de evaluare ulterioară a aurului.

1.4.7. CAROTAJUL FLUORESCENȚEI X

Fluorescența X constituie un fenomen care oferă posibilitatea analizei elementale realizate pe probe de roci (carote), pe suprafața rocilor în aflorimente sau galerii, în sonde (carotajul fluorescenței X), în fluxul de preparare al minereurilor, în concentrate.

Metoda are la bază fenomenul de excitare a radiației X caracteristice elementului căutat; această excitare se poate produce cu ajutorul radioizotopilor care emit radiații alfa, beta, X și gama. În urma excitării atomului de către radiația primară are loc expulzarea unor electroni din stratele interioare *K*, *L*, *M* etc., iar locul liber va fi ocupat imediat de electronii unor strate exterioare. Tranzițiile electronice pun în joc nivele energetice bine definite și sînt însoțite de radiații secundare care se plasează în domeniul radiațiilor X. Această radiație secundară se numește de *fluorescență*, deoarece este caracterizată prin lungimi de undă mai mari decît ale radiației primare incidente. Lungimea de undă a radiațiilor X variază în funcție de numărul atomic *Z* al elementului emițător și constituie baza identificării precise a acestuia.

Sursele de radiații X sau gama folosite în prezent acoperă un domeniu larg de energii pentru excitarea spectrului caracteristic al multor elemente. Excitarea optimă este obținută cînd se folosește o radiație monocromatică avînd o energie imediat deasupra limitei de absorbție a elementului de analizat.

În general, pentru detectarea radiațiilor X se utilzează contoare cu scintilații, contoare proporționale și detectoare cu cristale semiconductoare, asigurînd o cît mai bună rezoluție energetică.

Metoda de fluorescență X este aplicabilă pentru detectarea și evaluarea unui număr important de elemente : Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Mo, Ag, Sn, W, Au, U.

Combinarea unui sistem de fluorescență X cu un dispozitiv de carotaj gama-gama selectiv s-a dovedit utilă în practica de teren (Clayton, 1969). Prin carotajul gama-gama selectiv se identifică rapid zonele cu conținut mare în substanțe utile care pot fi apoi examinate cu o mai mare acuratețe și specificitate cu metoda fluorescenței X.

1.4.8. SPECTROMETRIA RADIAȚIILOR GAMA ÎN CAROTAJ

Spectrul energetic al radiațiilor gama naturale sau provocate în urma bombardării cu neutroni reflectă particularități individuale ale structurii atomice a elementelor care le emit, constituind unul din cele mai sigure mijloace de identificare a lor.

Spectrul de radiații gama care interesează în carotajul radioactiv este cuprins, în general, în domeniul 0—9 MeV. În acest domeniu, spectrul radiației gama naturale nu depășește 2,6 MeV, în timp ce spectrul radiației gama de captură se extinde pînă la valori apropiate de 9 MeV.

De un interes major în carotajul radioactiv este spectrometria radiației gama naturale care permite identificarea elementelor ce contribuie la crearea radioactivității naturale pe diferite nivele de energie și evaluarea conținutului rocilor în elemente radioactive în termeni de uraniu, thoriu sau potasiu.

În spectrul radiației gama naturale principalele radioelemente se identifică după energii caracteristice.

O atenție deosebită se acordă spectrelor radiației gama provocate la bombardarea rocilor cu neutroni , mai ales spectrului radiațiilor gama de activare datorită aplicării pe scară largă a carotajului activării la cercetarea sondelor de explorare a minereurilor de Al, Cu, Mn, V, Mg, Fe, Ni, Cr ș.a.

Deosebit de promițătoare este metoda de analiză folosind spectrometria radiațiilor X de fluorescență. Sînt menționate rezultate bune pentru Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, La, Ce (Pop și Constantinescu, 1976) .

1.5. CAROTAJUL ACUSTIC

Carotajul acustic are la bază diferențierea rocilor din punct de vedere al vitezei de propagare a undelor elastice și al atenuării acestor unde cu distanța. Pe această bază, carotajul acustic se aplică în două variante :

— carotajul acustic de viteză și,

— carotajul acustic de atenuare.

La investigarea sondelor pentru substanțe minerale solide se aplică îndeosebi carotajul acustic de viteză, ale cărui principii sînt prezentate în cele ce urmează.

Măsurătorile efectuate în carotajul acustic de viteză sînt de fapt măsurători de timp. Principial, cu ajutorul unui emițător se produce în gaura de sondă o undă elastică și se înregistrează timpul necesar undei, de regulă unda longitudinală (compresională) să ajungă la un receptor situat la o anumită distanță sau să parcurgă un anumit traseu situat între doi receptori. Cel mai scurt timp de parcurs între emițător (E) și receptoare (R_1, R_2) se înregistrează pe traiectul undei refractate la limita sondă — formațiune (fig. XIII.15). Ceea ce se măsoară este diferența timpilor de sosire ai undei compresionale la receptorul îndepărtat (R_2) și receptorul apropiat (R_1).

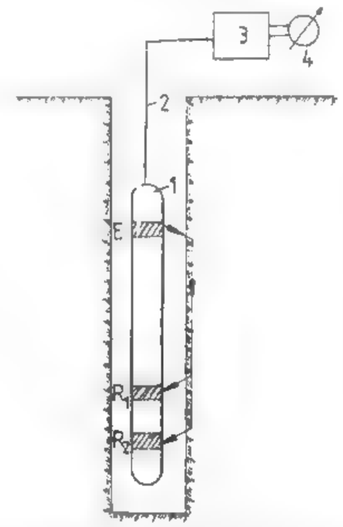


Fig. XIII.15. Schema principială a carotajului acustic :

1 — dispozitivul de sondă ; 2 — cablu ; 3 — blocul de prelucrare a semnalului ; 4 — aparatul înregistrator.

La folosirea dispozitivelor de carotaj acustic de viteză cu două receptoare, influența drumului parcurs de unda elastică prin noroiul de foraj este eliminată. Altfel spus, natura noroiului de foraj nu are nici o influență asupra carotajului acustic.

Distanța între cele două receptoare poartă denumirea *de bază de măsură* (l) și determină rezoluția verticală a dispozitivului de carotaj acustic. Se utilizează frecvent dispozitive cu bază de măsură $l = 0{,}9$ m.

Semnalul măsurat în carotajul acustic de viteză obișnuit este influențat de variația diametrului găurii de sondă. Pentru a exclude complet această influență s-au introdus dispozitivele de carotaj acustic compensat.

Metoda carotajului acustic de viteză se utilizează ca mijloc de evaluare a porozității rocilor, la cercetarea sondelor de explorare a cărbunilor și sărurilor minerale (sare gemă, săruri de potasiu).

1.6. CAROTAJUL MAGNETIC

Carotajul magnetic are la bază studiul variației proprietăților magnetice ale rocilor traversate de sondă. Se aplică frecvent în două variante :

— carotajul de susceptibilitate magnetică și,

— carotajul de cîmp magnetic.

De regulă, carotajul de susceptibilitate magnetică este efectuat simultan cu carotajul de cîmp magnetic. Cele două tipuri de carotaje aplicate la cercetarea sondelor de

explorare pentru minereuri pot asigura :

— caracterizarea din punct de vedere geologic a formațiunilor traversate de sondă ;

— evidențierea și localizarea diferitelor tipuri de minereuri ;

— detectarea corpurilor de minereuri intersectate de sondă sau care rămîn în fapropierea sondei ori sub nivelul tălpii sondei ;

— determinarea conținutului în minerale feromagnetice în acele cazuri cînd între acestea și susceptibilitatea magnetică există o dependență clară.

În țara noastră se aplică cel mai mult carotajul de susceptibilitate magnetică în varianta gradient, care asigură cu precizie detectarea și delimitarea mineralizațiilor feromagnetice.

1.7. CAVERNOMETRIA

Operația de cavernometrie are rolul de a stabili variația reală a diametrului găurii de sondă în raport cu diametrul nominal al sapei, ca rezultat al acțiunii combinate a lichidului de foraj, sapei și garniturii de prăjini asupra stratelor traversate. Variațiile de diametru pot fi puse în legătură cu natura litologică a formațiunilor.

Cavernometria obișnuită este efectuată cu cavernometre cu brațe expandabile, de tip patină sau tip lame elastice.

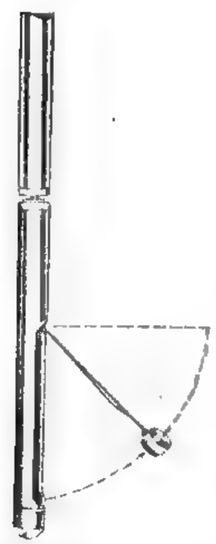


Fig. XIII.16. Schema cavernometrului sonic (după Dawson-Grove).

O importanță particulară în geologia minieră o are *cavernometria sonică* destinată înregistrării profilelor cavernelor în masivele de sare exploatate prin sonde, înregistrarea profilelor sondelor de diametru mare (puțuri de mină) și cavernelor de depozitare subterană formate prin dizolvare în sare.

Cavernometria sonică are la bază următorul principiu : un puls sonor este emis de la un transmițător și se înregistrează timpul necesar sunetului să atingă peretele cavernei și să fie recepționat la același traductor care acționează acum ca receptor. Timpul necesar de parcurs este o măsură a distanței pînă la peretele cavernei.

Dispozitivul de sondă constă dintr-un traductor plasat la capătul unui braț care se deplasează din poziție verticală în poziție orizontală, permițînd emisia-recepția pulsurilor continuu, pe peretele sondei, de la orizontală la verticală (Dawson-Grove, 1969) (fig. XIII.16). În general, pentru o anumită poziție a traductorului se execută o citire la fiecare 4° de rotație a aparatului. Secțiunea superioară a dispozitivului conține o celulă pentru măsurarea „in situ" a vitezei sunetului în mediul în care este lansat dispozitivul. Din măsurarea timpului de parcurs și vitezei în fluid se calculează distanța de la dispozitiv la peretele cavernei.

Pentru fiecare nivel de adîncime se obține imaginea secțiunii transversale a cavernei ; prin asamblarea tuturor imaginilor se obține configurația reală a cavernei (golul de dizolvare).

2. APLICAREA CAROTAJULUI GEOFIZIC PENTRU IDENTIFICAREA ȘI EVALUAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE SOLIDE

În aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea substanțelor minerale solide, plecînd de la condițiile geologice ale zonei de cercetat și proprietățile fizice ale minereurilor și substanțelor minerale ce prezintă interes practic, programul optim poate fi stabilit numai în urma unor lucrări experimentale în condiții de sondă. Se urmărește caracterizarea metodelor aplicate după capacitatea lor de rezoluție privind separarea principalelor tipuri de roci, evidențierea substanțelor utile, delimitarea exactă a acestora, obținerea datelor inițiale pentru caracterizarea structurii minereului și evaluarea cantitativă a conținutului în substanță utilă.

Varietatea foarte mare de minereuri și substanțe utile, precum și de condiții geologice în care acestea se întîlnesc, determină programe de investigare diferite care nu pot fi generalizate. Aceste programe de investigare trebuie să cuprindă metode care să permită pe de o parte, caracterizarea naturii principalelor tipuri de roci și, pe de altă parte, identificarea și separarea principalelor substanțe utile solide.

În cele ce urmează, vor fi date cîteva exemple pe tipuri de mineralizații și substanțe.

2.1. MINERALIZAȚII DE METALE FEROASE

Din această categorie, un loc important îl ocupă minereurile de fier și mangan ; la acestea se adaugă minereurile de crom, titan, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și wolfram.

Minereurile de fier, de mai multe tipuri, se caracterizează prin compoziție mineralogică, condiții de formare și alte particularități diferite.

Pentru identificarea și evaluarea minereurilor magnetitice, datorită susceptibilității magnetice mari, procedeul de carotaj geofizic care se recomandă de la sine este carotajul magnetic de susceptibilitate, indiferent de tipul genetic al minereului. Diagrama carotajului de susceptibilitate magnetică de tip gradient-înregistrată într-o sondă de pe zăcămîntul de la *Palazu Mare* (fig. XIII.17) — ilustrează, pe de o parte, delimitarea sigură a zonelor mineralizate în raport cu șisturile cristaline intercalate, iar pe de altă parte, separarea zonelor mai bogate de cele mai sărace în magnetit.

Carotajele electrice și radioactive aplicate în zonă aduc unele informații cu privire la formațiunile traversate, fără să ofere criterii sigure de identificare a mineralizației în raport cu calcarele și șisturile cristaline. Astfel, carotajul radiației gama naturale permite plasarea limitei dintre calcare și complexul cristalin prin creșterea nivelului de radioactivitate, iar zonele mineralizate mai bogate identificate pe carotajul de susceptibilitate magnetică se manifestă prin minime pe curbele carotajului gama-gama de densitate. Minimele înregistrate pe curbele de rezistivitate aparentă atît în complexul calcarelor cît și în complexul cristalin sînt de regulă asociate cu zone de fisurare-fracturare sau chiar zone de faliere.

Un alt exemplu este oferit de diagrafia geofizică complexă efectuată în zona *Băișoara* (fig. XIII. 18). Mineralizațiile de fier (magnetit) sînt identificate în primul rînd pe

curbele de carotajmagnetic și se diferențiază de corpurile de sulfuri polimetalice. Rocile adiacente sînt reprezentate de calcare, banatite și skarne. Atît zonele mineralizate cu magnetit cît și cele cu sulfuri se caracterizează prin valori minime evidente pe curba gama-gama, rezistivitate mică și PS electropozitiv. PS-ul electropozitiv este caracteristic îndeosebi sulfurilor. Rezistivitatea mică și relativ constantă sugerează existența unor minereuri de tip masiv. O informație deosebit de utilă obținută din diagrafia radioactivă gama este limita între calcare și banatite, acestea din urmă fiind caracterizate printr-o radioactivitate ridicată.

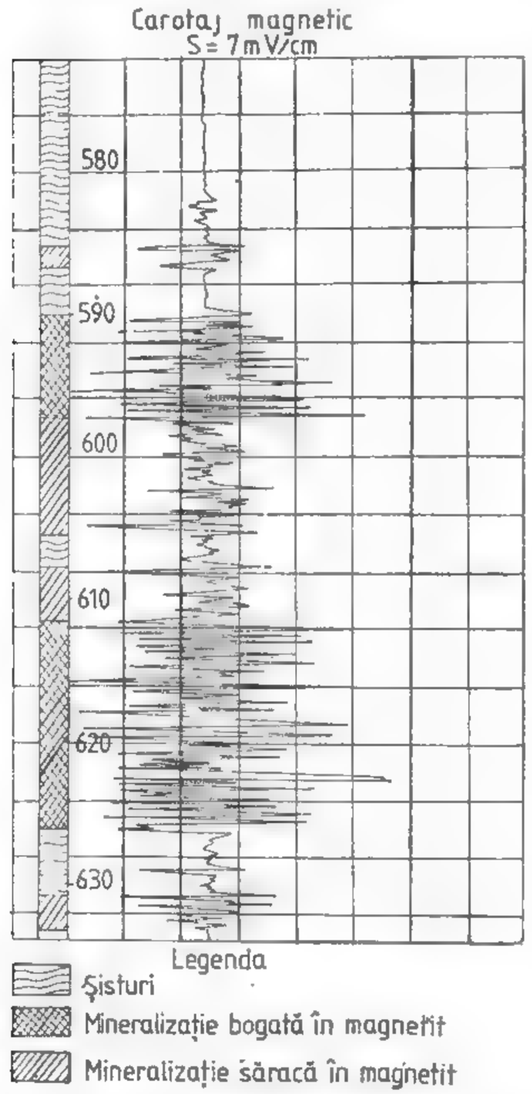


Fig. XIII.17. Carotaj magnetic într-o sondă de explorare din zona *Palazu Mare-Dobrogea* (după IFLGS).

Interpretarea complexă a diagrafiei geofizice înregistrate a permis să se identifice și unele zone cu mineralizație dispersă.

Minereurile de fier hematitice, limonitice și sideritice fiind slab magnetice nu pot fi evidențiate prin carotajul magnetic. În acest caz principalele metode de carotaj geofizic care se recomandă aparțin carotajului radioactiv (gama, gama-gama, neutron-gama). Cea mai bună rezoluție o are carotajul radiației gama dispersate în varianta carotajului de densitate sau selectiv aceasta se bazează pe faptul că zonele mineralizate au densitatea și numărul atomic efectiv mai mari decît rocile adiacente.

Un exemplu de localizare a unui corp sideritic în aglomerate andezitice pe baza minimului înregistrat în carotajul gama-gama de densitate este prezentat în fig. XIII.19 pentru o sondă din zona *Mădăraș*. Interpretarea dată este confirmată și prin minimul înregistrat pe curba radiației gama naturale și maximul pe curba neutron-gama, aceasta din urmă indicînd o zonă compactă.

În aceeași sondă, pe baza carotajului geofizic s-a putut plasa cu precizie limita între aglomeratele andezitice și calcarele inferioare; această limită este controlată pe toate curbele înregistrate (PS, gama, gama-gama și neutron-gama). În această zonă sideritele se manifestă prin maxime pe curbele de rezistivitate în raport cu aglomeratele andezitice.

Uneori intercalațiile sideritice și ankeritice, cum este cazul zăcămintelor din zona *Ghelar* și *Teliuc*, se manifestă prin minime în raport cu calcarele adiacente. În prezența

magnetitei dispersate, minereurile de fier de tip carbonatic pot fi identificate prin carotajul magnetic.

Identificarea mineralizațiilor de fier poate fi făcută și pe cale indirectă, prin activarea manganului, întotdeauna întîlnit în asociație cu fierul. Rezultate bune au fost obținute pe zăcămintele de tip *Poiana Ruscă* și tip *Harghita* (Iordache, 1965).

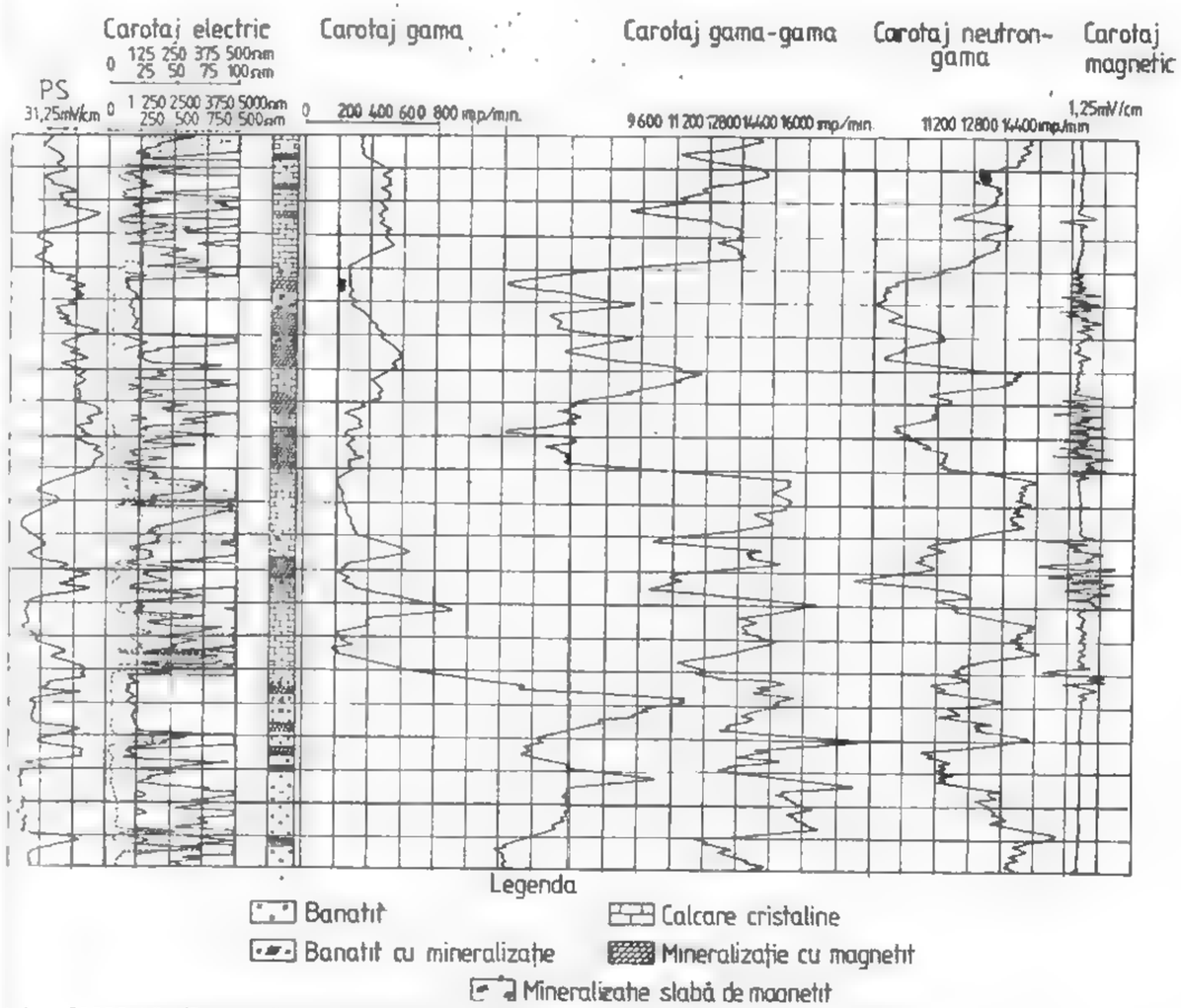


Fig. XIII.18. Diagrafie geofizică complexă pentru mineralizații de fier și sulfuri în zona *Băișoara* (după IFLGS).

Una din problemele importante ale investigării geofizice a sondelor pentru minereuri, în general, este evaluarea conținutului în substanță utilă.

În principiu, pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din minereu se utilizează datele acelei metode de carotaj geofizic pentru care se constată cea mai strînsă

dependenţă între valorile înregistrate şi variaţia conţinutului de substanţă utilă. Stabilirea relaţiei de dependenţă între răspunsul unei anumite metode de carotaj geofizic şi conţinutul în substanţă utilă pentru un zăcămînt, dat se face pe baza analizei unui număr reprezentativ de probe de minereu. După stabilirea curbei de dependenţă poate fi rezolvată problema inversă a determinării conţinutului de substanţă utilă pentru cazurile cînd se dispune numai de carotajul geofizic.

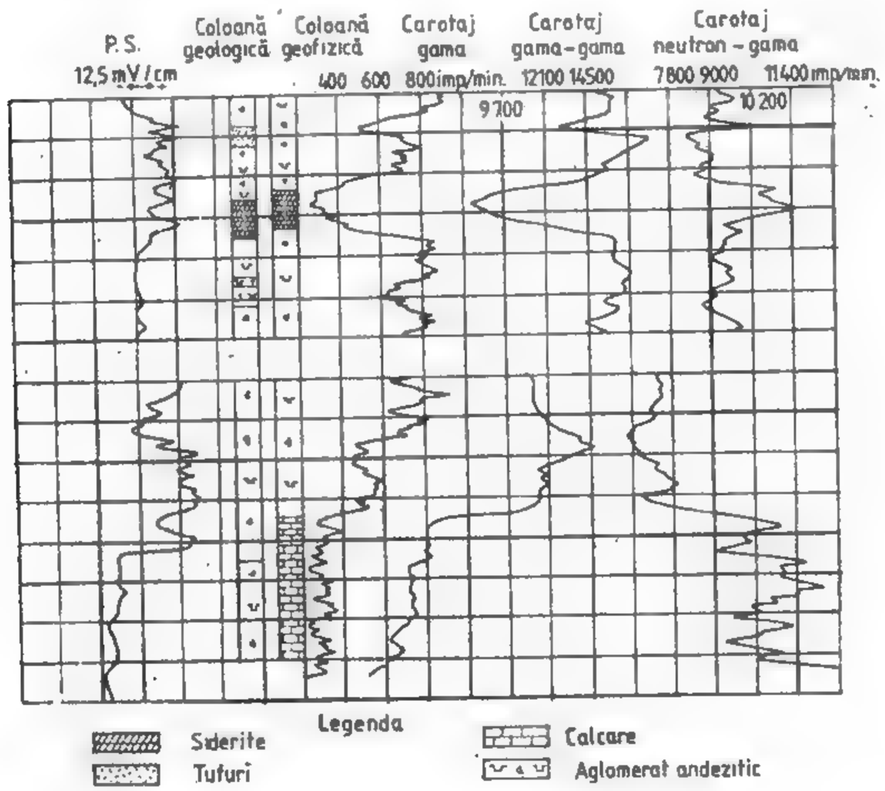


Fig. XIII.19. Localizarea corpurilor de siderite din zona *Mădăraş* după diagrafia geofizică (după IFLGS).

Cele mai favorabile metode pentru evaluarea conţinutului de fier din minereuri de orice tip sînt metodele radioactive gama-gama de densitate şi selectiv, neutronice şi spectrometria radiaţiilor gama de captură ; unele din procedeele elaborate au aplicabilitate practică limitată.

Rezultate notabile în acest sens au fost obţinute de *Iordache* (1965) pe diferite zăcăminte sau iviri de fier din ţara noastră. Experienţa obţinută ar trebui să fie extinsă şi să capete un caracter sistematic atît pentru fier cît şi pentru alte substanţe minerale utile solide.

Minereuri de mangan. Evidenţierea mineralizaţiei şi evaluarea conţinutului cantitativ al manganului se pot face cu ajutorul carotajului neutron-neutronic cu neutroni termici şi carotajului activării. Aceasta are la bază secţiunea mare de captură a manganului pentru neutroni termici şi formarea izotopului radioactiv Mn^{56} ($T = 2,6$ ore) din izotopul stabil Mn^{55}, în urma reacţiei nucleare cu neutroni termici ${}_{25}Mn^{55}$ (n, γ) ${}_{25}Mn^{56}$.

Izotopul Mn^{56} poate lua naştere şi prin reacţia Fe^{56} (*n*, *p*) Mn^{56}, dar la iradierea formaţiunilor cu neutroni rapizi. Un exemplu de carotaj de activare a manganului este prezentat în fig. XIII.20, într-o sondă de explorare pe zăcămintele de fer de tp *Hărghita*

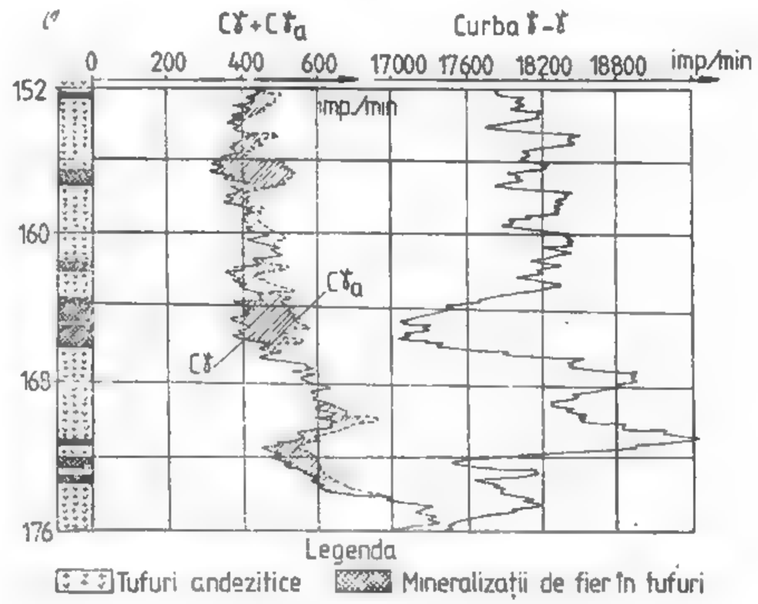


Fig. XIII.20. Carotaj de activare pentru identificarea manganului în mineralizaţii de fier de tip *Harghita* (după Iordache).

(Ioradache, 1965). Uzual, carotajul de activare pentru mangan se efectuează prin măsurători în staţii. O construcţie specială a dispozitivului de sondă şi viteza mică de înregistrare (4—16 m/oră) au permis un carotaj de activare continuu, ca în exemplul prezentat mai sus. Aici activarea manganului a fost folosită ca metodă indirectă de identificare a zonelor cu mineralizaţii de fier.

Vanadiul rareori formează zăcăminte propriu zise. Se pote întîlni în asociaţie cu rocile bazice (magnetite titanifere legate de gabrouri) şi ultrabazice, în produse de alterare chimică (argile, bauxite, fosfaţi, limonit) şi în zonele de oxidare ale minereurilor de plumb, zinc şi cupru (Petrulian, 1973). În multe cazuri este asociat cu minereurile de uraniu (carnotita).

În sonde, prezenţa vanadiului poate fi pusă în evidenţă prin carotajul de activare continuu, izotopul radioactiv obţinut (${}_{23}V^{52}$) avînd timp de înjumătăţire scurt ($T = 3,9$ min).

În țara noastră, carotajul de activare pentru vanadiu a fost aplicat pentru identificarea unor zone de îmbogățire în șisturile bituminoase de la *Anina*.

Mineralizațiile de crom pot fi identificate printr-un complex de metode radiometrice constînd din : carotaj neutron-gama spectral, carotaj neutron-neutronic cu neutroni supratermici, carotaj gama-gama de densitate și selectiv (Feldman, et al, 1974) care permite separarea univocă a minereurilor de cromite, diferențierea lor pe tipuri și evaluarea principalilor componenți și caracterizarea litologică generală a profilelor traversate. Un exemplu de acest fel este prezentat în fig. XIII.21.

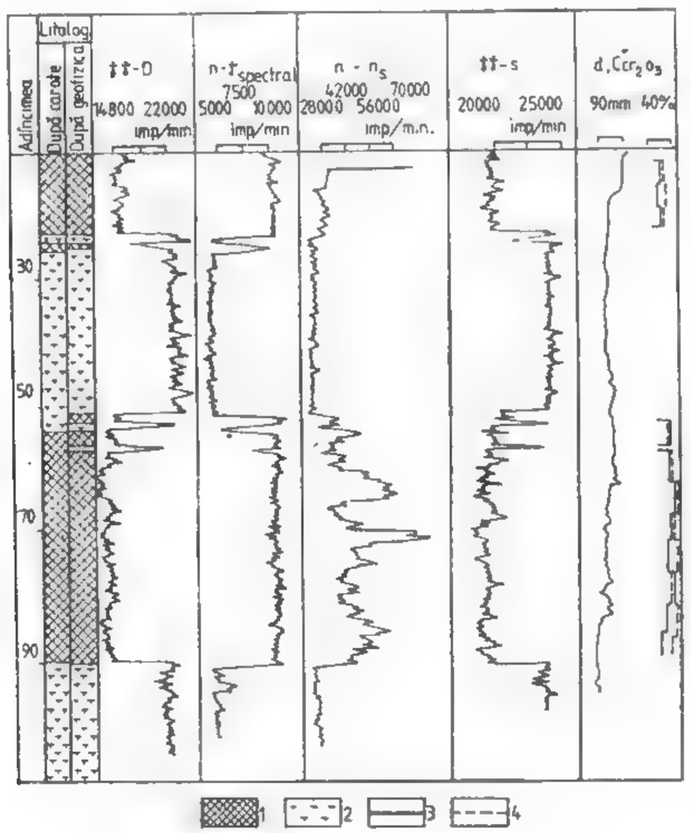


Fig. XIII.21. Separarea și evaluarea cromitelor cu ajutorul unui complex de carotaje radioactive (după Feldman et al.).

Mineralizațiile de nichel pot fi identificate prin carotaj gama spectral cu o „fereastră" energetică corespunzătoare acestui element. Separarea univocă a zonelor cu minereu de nichel este legată de diferențierea spectrelor Ni și Fe în domeniul energiilor mari ale radiației gama de captură (Alexeev et al., 1968).

2.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE ȘI AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile de metale neferoase, în particular, de cupru, plumb și zinc se întîlnesc mai ales sub formă de sulfuri cu caracter polimetalic. O caracteristică importantă ce trebuie luată în considerare la aplicarea metodelor de carotaj geofizic este aceea că multe minereuri ale metalelor neferoase (pirită cupriferă, calcopirită) au o rezistivitate foarte mică, legată de conductibilitatea lor electronică. În funcție de tipul minereului, rezistivitatea poate fi mai mare sau mai mică. Astfel, minereurile metalelor neferoase de tip masiv, filonian sau agregate bogate au rezistivitate foarte mică, în timp ce minereurile diseminate, toate minereurile oxidate, minereurile de zinc și minereurile cu conținut mic în substanță utilă au o rezistivitate relativ mare.

Dacă primele tipuri de minereuri pot fi identificate prin metode electrice (rezistivitate, PS), pentru cele din al doilea grup se recomandă aplicarea metodelor radioactive și, în particular, carotajul gama-gama de densitate și gama-gama selectiv.

În exemplul din fig. XIII. 18 caracteristice zonelor cu sulfuri sînt valorile electropozitive pe curba de PS, rezistivitatea mică și valorile mici pe curba gama-gama de densitate.

Carotajul gama-gama de densitate a fost aplicat cu succes în evaluarea concentrației de zinc din minereu sub formă de sulfuri într-o matrice de calcar și a conținutului total de **plumb și zinc** în anumite zone ale aceluiași zăcămînt (Donhoffer, 1969). Zonele cu minereu au fost evidențiate printr-o descreștere semnificativă a intensității relative (raportul între valorile înregistrate în zona de minereu la valorile înregistrate în intervalele din sondă cu roca de bază). Pe baza curbelor de calibrare s-a determinat concentrația în zinc sau în plumb și zinc ; compararea valorilor obținute cu datele analizelor chimice a indicat o foarte bună corelare.

Pentru identificarea și evaluarea **cuprului** din minereurile cu conținut mic în metal se recomandă folosirea carotajului de activare neutronică. Sînt doi izotopi stabili ai cuprului care produc izotopi radioactivi la bombardarea cu neutroni : Cu^{65} în proporție de 31% și Cu^{63} în proporție de 69% în amestecul natural a izotopilor de cupru. Prin activare, din primul izotop stabil ia naștere izotopul radioactiv Cu^{65} cu timp de înjumătățire scurt ($T = 5,1$ min), iar din al doilea, ia naștere izotopul radioactiv Cu^{66}, cu timp de înjumătățire lung ($T = 12,8$ ore). Dacă se urmărește izotopul cu viață scurtă, carotajul de activare poate fi realizat continuu ; izotopul cu viață lungă poate fi identificat prin măsurători discrete.

Minereurile de aluminiu, în particular bauxitele, pot fi localizate la explorarea prin sonde cu ajutorul carotajului de activare. La iradierea cu neutroni, izotopul stabil $_{13}Al^{27}$ trece în izotopul radioactiv $_{13}Al^{28}$ ($T = 2,27$ min) a cărui radiație gama poate fi înregistrată în mod continuu la viteză mică de deplasare a dispozitivului în sondă.

Alături de activarea aluminiului cu neutroni termici, conform reacției $_{13}Al^{27}$ (n, γ) $_{13}Al^{28}$, poate fi urmărită și activarea siliciului la bombardarea cu neutroni rapizi, în acord cu reacția nucleară : $_{14}Si^{28}$ (n, p) $_{13}Al^{28}$. Raportul Al/Si obținut pe această cale reprezintă un indicator deosebit de util pentru evaluarea calității bauxitelor.

Comparînd datele de măsurare în metoda activării cu conținutul în oxid de aluminiu din corpurile de bauxită determinat prin analize chimice, s-a găsit că între cele două mărimi există o dependență liniară.

Mineralizațiile auro-argentifere se întîlnesc adesea în asociație cu mineralizațiile polimetalice. Conținutul foarte mic de aur și argint din minereu face ca astfel de mineralizații să nu poată fi identificate direct prin metode uzuale. Metoda de bază pentru identificarea argintului și în condițiile unei etalonări corespunzătoare și evaluarea sa canti-

tativă este carotajul de activare. Se poate activa atît izotopul $_{47}Ag^{107}$, în proporție de 51,35% în amestecul natural al izotopilor de argint și secțiunea de activare de 44 barni, cît și izotopul $_{47}Ag^{109}$, în proporție de 48,65%, cu secțiunea de activare de 110 barni. Izotopul rezultat în primul caz, $_{47}Ag^{108}$ are timp de înjumătățire de 2,3 min, iar cel rezultat în al doilea caz, $_{47}Ag^{110}$, are timp de înjumătățire de 24 s, astfel încît radiația gama de activare poate fi înregistrată în mod continuu.

Aplicînd o metodică de cercetare adecvată pentru detectarea argintului, zonele mineralizate în argint se vor delimita, calitativ, printr-o diferențiere netă între curba radiației gama naturale înregistrată înainte de bombardarea cu neutroni și curba radiației gama de activare (fig. XIII.22).

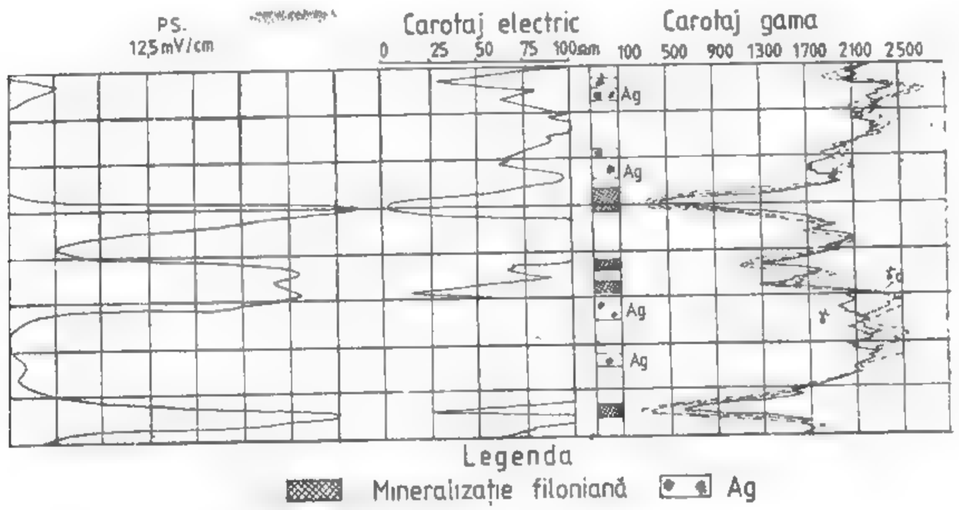


Fig. XIII.22. Exemplu de carotaj de activare pentru argint-*Băiuți* (după IFLGS).

Elemente de detaliu privind metodica cercetării mineralizațiilor auro-argentifere prin carotajul de activare au fost publicate de *Iordache* (1967).

Zonele de silicifiere și filoanele de cuarț cu care se asociază adesea mineralizațiile auro-argentifere pot fi puse în evidență cu ajutorul carotajelor de rezistivitate, gama natural și gama-gama (de densitate și selectiv).

2.3. MINERALIZAȚII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ȘI DISPERSE

Pentru identificarea și evaluarea *in situ* a zăcămintelor de **uraniu** sau **mineralizațiilor radioactive** la explorarea prin sonde, carotajul radiației gama naturale reprezintă metoda care se indică de la sine.

La aplicarea carotajului gama pentru detectarea și evaluarea mineralizațiilor de uraniu trebuie să se țină seama de cîteva particularități (Hawkins și Gearhart, 1968) și anume:

— dispozitivul de carotaj trebuie să aibă un domeniu foarte larg de răspuns, deoarece este de așteptat ca într-un corp mineralizat să se întîlnească zone cu conținuturi variabile în uraniu;

— detectorii utilizați să aibă un timp de rezoluție cît mai scurt posibil;

— în circuitul de măsură a semnalului să se conserve amplitudinea pulsurilor, proporțională cu energia radiației detectate;

— validitatea interpretării în termeni cantitativi depinde de acuratețea calibrării dispozitivelor; de regulă, această calibrare se efectuează pe modele cu concentrații comparabile cu cele din minereurile de uraniu.

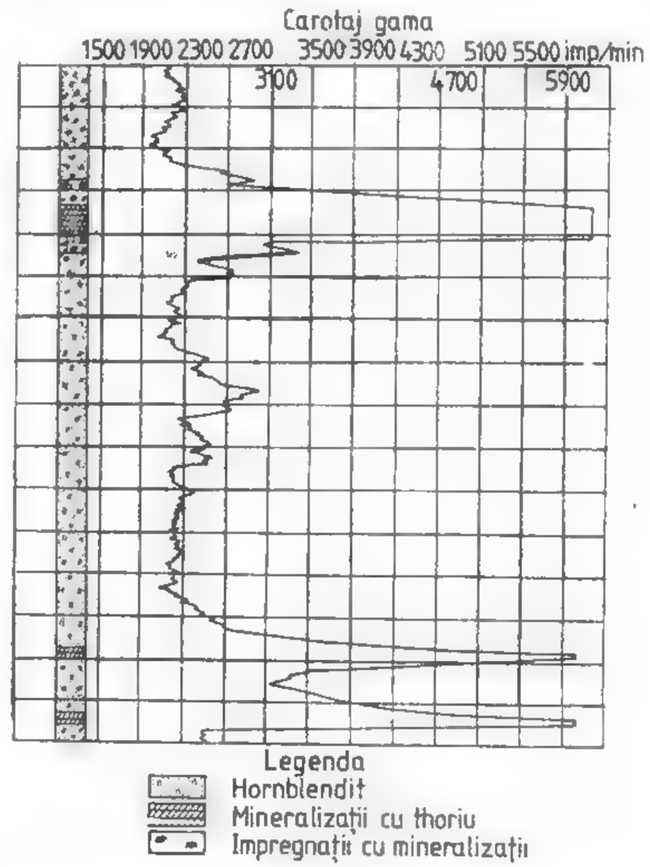


Fig. XIII.23. Carotaj gama pentru identificarea mineralizațiilor radioactive.

Identificarea și delimitarea calitativă a mineralizațiilor radioactive de uraniu și thoriu după curba gama este imediată, așa cum se poate vedea și în exemplul din fig. XIII.23.

Evaluarea conținutului de uraniu din minereu are la bază relația (Scott et al., 1961):

$$C \cdot h = k \cdot A,$$

în care: C este conținutul mediu al minereului de uraniu exprimat în procente de U_3O_8 echivalent, în greutate;
h — grosimea zonei de minereu;
k — constantă de proporționalitate determinată în urma procesului de calibrare;
A — aria închisă de curba gama.

Beriliul poate fi detectat și evaluat din punct de vedere calitativ cu ajutorul carotajului fotoneutronic. Este de menționat că au fost elaborate aparate portabile pentru prospectarea beriliului pe aflorimente și în lucrări miniere. Dispozitivele de etalonare din trusa aparatului asigură obținerea directă a conținutului de beriliu din rocă (Lövborg et al., 1969).

Metoda de activare cu radiații gama poate fi utilizată, de asemenea, pentru determinarea conținutului în **zirconiu** în minereuri zirconifere și în concentrate (Berzin et al., 1968) sau pentru determinarea simultană a conținutului de Ti și Zr în minereuri complexe titano-zirconifere, pe fondul altor elemente asociate (Sornikov, 1968).

Litiul posedă o mare secțiune de captură pentru neutroni termici (70 barni), astfel că, în principiu, se poate identifica prin minime pe curbele neutronice. În practică pot fi identificate cu suficientă precizie doar zonele îmbogățite în minerale de litiu (lepidolitul, zinwalditul, spodumenul).

2.4. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

Din gama foarte largă a substanțelor nemetalifere și rocilor utile, numai o parte din ele sînt explorate prin sonde, deși sînt multe asemenea substanțe care prin proprietățile lor fizice în raport cu rocile în care sînt cantonate se evidențiază ușor pe curbele diferitelor procedee de carotaj geofizic.

Sarea gemă explorată și exploatată prin sonde poate fi identificată cu ajutorul carotajului radioactiv prin radioactivitatea sa scăzută și valori foarte ridicate ale radiației gama de captură sau fluxului de neutroni. Variațiile pe curba gama și curbele neutronice sînt puse pe seama impurităților constituite, de regulă, din argilă. Un exemplu de identificare a sării după diagrafia radioactivă este prezentat în fig. XIII.24.

Intervalele cu sare pot fi ușor identificate pe curbele carotajului electric cu curenți focalizați (laterolog) și pe curbele carotajului de densitate. În multe situații, curba de densitate poate să contribuie la diferențierea sării geme de anhidrit.

În evaluarea completă a oricărui zăcămînt de sare gemă capătă o importanță deosebită cunoașterea raportului dintre fracțiunea solubilă și insolubilă. Pentru determinarea conținutului solubil-insolubil al sării pot fi aplicate cu succes metode indirecte care utilizează datele diagrafiei geofizice moderne (de densitate, acustice și neutronice). În țara noastră o evaluare de acest gen a fost efectuată de *Neguț* (1977) pentru sondele adînci de explorare a masivului de sare de la *Slătioarele-Argeș*. Datele integrate ale carotajelor gama, densitate și acustic au fost utilizate, de asemenea, pentru estimarea „in situ" a parametrilor elastici ai sării (modulului lui *Young*, coeficientul *Poisson*, modulul de elasticitate transversală și coeficientul de compresibilitate volumică).

Sărurile de potasiu și magneziu care prezintă interes practic sînt: silvina (KCl), carnalitul ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), langbeinitul ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), polyhalitul ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) și kainitul ($MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$). Aceste minerale sînt radio-

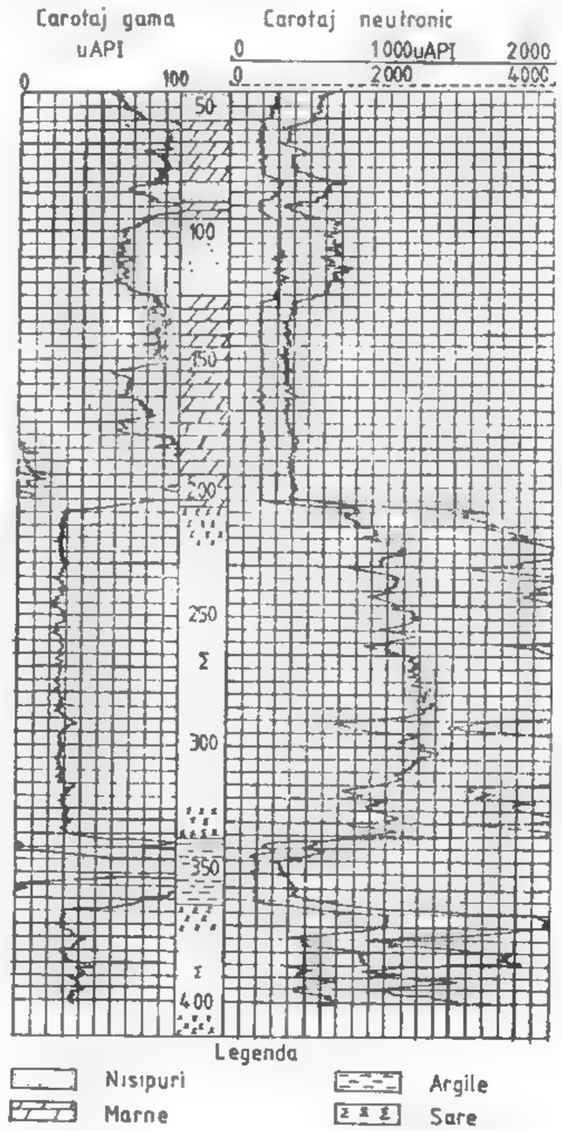


Fig. XIII.24. Identificarea sării după diagrafia radioactivă, *Slătioarele*-Argeș.

active, astfel că localizarea lor în profilul sondei se face cu ajutorul carotajului radiației gama naturale. O importantă detaliere poate fi făcută cu ajutorul carotajului neutron-gama, neutron-neutronic și gama-gama de densitate. Pe această bază se pot separa sărurile

de potasiu hidratate de cele fără apă de cristalizare și sărurile mai dense de cele mai puțin dense.

Uneori argilele au o radioactivitate naturală comparabilă cu a stratelor de săruri de potasiu. Diferențierea argilelor în acest caz este posibilă cu ajutorul carotajului acustic, deoarece argilele au un timp de parcurs mai mare decît amestecuri de sare gemă cu săruri de potasiu.

Un exemplu de diagrafie geofizică înregistrată într-o sondă de explorare pentru săruri de potasiu din zona *Cucuieți* este prezentat în fig. XIII.25.

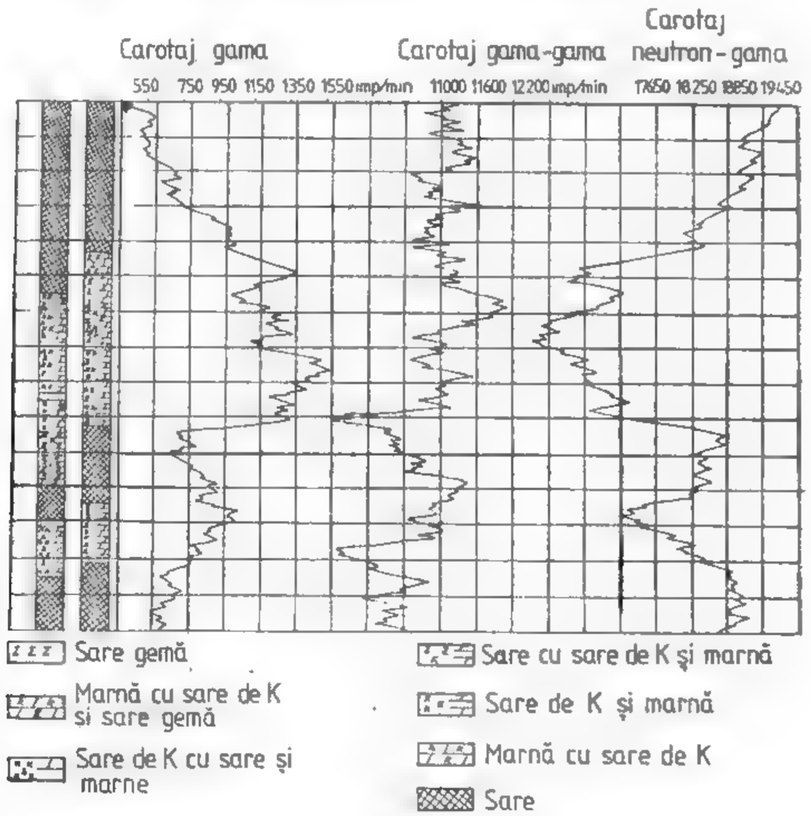


Fig. XIII.25. Identificarea zonelor cu săruri de potasiu după diagrafia geofizică în zona *Cucuieți* (după IFLGS).

În marea majoritate a cazurilor, sărurile de potasiu se întîlnesc în amestecuri cu alte evaporite și adesea conțin impurități insolubile. Pe baza unui program complex de investigare geofizică este posibilă atît identificarea tipului minereului de potasiu și magneziu cît și determinarea cantitativă a fiecărei fracțiuni mineralogice (Tixier și Alger, 1970).

Gipsul ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) și **anhidritul** ($CaSO_4$) se localizează ușor cu ajutorul carotajului electric prin rezistivitatea lor foarte mare și carotajul radioactiv (gama și neutron-

gama sau neutron-neutronic). O netă diferențiere a gipsului de anhidrit se face cu ajutorul carotajului neutronic (datorită conținutului în apă de cristalizare a gipsului) și a carotajului de densitate, pe baza unui contrast de aproximativ 0,6 g/cm³.

Grafitul este identificabil în primul rînd prin carotajul electric—rezistivitate mică datorită conductibilității electronice și PS electropozitiv. Separarea rocilor cu grafit este asigurată dacă alături de carotajul electric se folosește și carotajul radioactiv (gama și gama-gama de densitate).

Pentru o serie de alte substanțe nemetalifere și roci utile (rocă cu sulf, baritină, fluorină, cuarțite, pegmatite cu mică, pegmatite cu feldspați, calcare, dolomită, cretă, nisipuri silicioase, argile), carotajul geofizic prin multitudinea de metode de care dispune poate intruni condiții optime de aplicabilitate, în măsura în care pentru explorare sînt utilizate sonde al căror diametru permite lansarea dispozitivelor geofizice.

În strînsă legătură cu condițiile geologice locale, aplicînd un program optim de investigare geofizică, pentru fiecare substanță nemetaliferă de interes pot fi stabilite criteriile de identificare și chiar de evaluare cantitativă.

2.5. CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

2.5.1. CĂRBUNI

Cercetarea geofizică sistematică a sondelor săpate pentru cărbuni se face în două etape:

— *o cercetare cu caracter informativ* pe toată sonda forată, în scopul obținerii datelor inițiale pentru corelare, separarea principalelor tipuri de roci și a stratelor de cărbuni. Scara de adîncime utilizată este, de regulă, 1 : 200;

— *o cercetare de detaliu*, în scara de adîncime 1 : 50 sau 1 : 20, pe porțiuni selectate, pentru un control suplimentar privind prezența stratelor de cărbuni, determinarea grosimii lor exacte și precizarea poziției structurale.

Cele două etape nu sînt obligatorii; în funcție de gradul de cunoaștere geologică a regiunii de lucru și condițiile particulare ale unui zăcămînt explorat, investigarea poate fi făcută cu un complex de metode corespunzător unei etape sau alteia.

Alegerea corectă a dispozitivelor de lucru sau a metodei de carotaj geofizic depinde și de grosimea stratelor de cărbuni și a rocilor intercalate.

Proprietățile fizice ale cărbunilor variază în limite largi, în funcție de gradul de carbonificare. De aceea, criteriile de identificare a stratelor de cărbuni, în general, sînt diferite, în funcție de tipul cărbunilor și rocilor adiacente.

Investigarea sondelor săpate pentru cărbuni, în cele mai dese cazuri, cel puțin pentru țara noastră, se realizează cu un complex de metode electrice și radioactive.

Cîteva exemple vor evidenția rolul carotajului geofizic în identificarea, delimitarea și evaluarea cărbunilor.

Cărbunii superiori, în particular **antracitul,** sînt identificați prin cele mai mici valori pe curbele de rezistivitate aparentă și prin valori mari, electropozitive, pe curbele de PS, așa cum se poate constata în exemplul din fig. XIII.26 pentru o sondă din zona *Lupac*. Rezistivitatea aparentă mică și PS-ul electropozitiv nu reprezintă însă un criteriu univoc în interpretare. Se pot întîlni situații cînd în mod analog se remarcă grafitul, rocile grafitoase și șisturile cărbunoase. De aceea, programul de investigare este completat cu

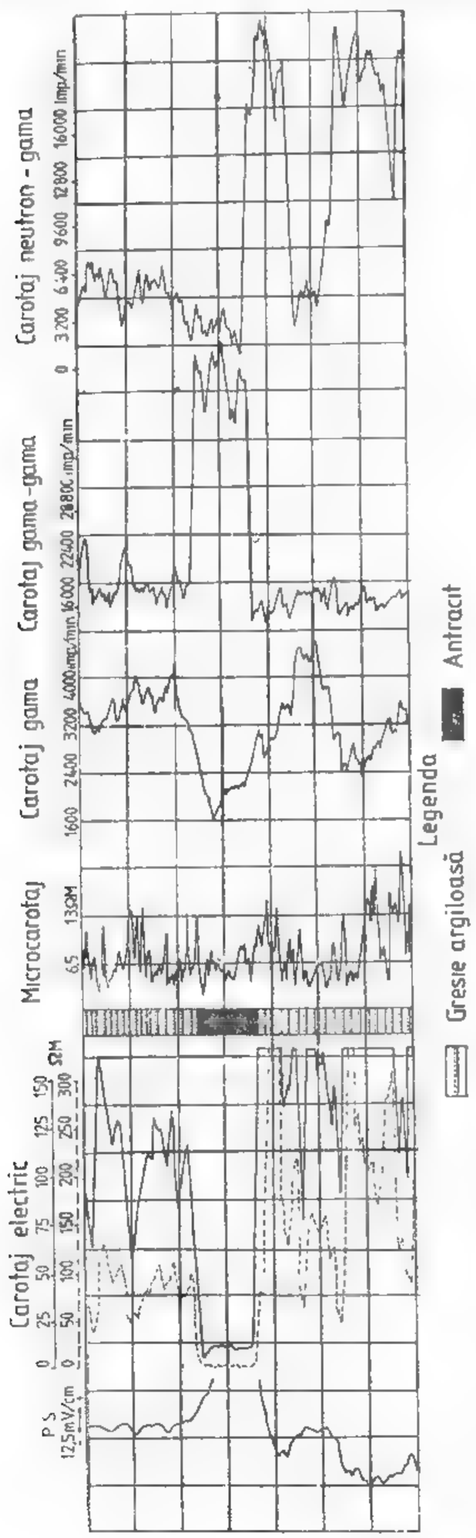


Fig. XIII.26. Diagrafie geofizică complexă pentru identificarea antracitelor în zona *Lupac-Anina* (după IPLGS).

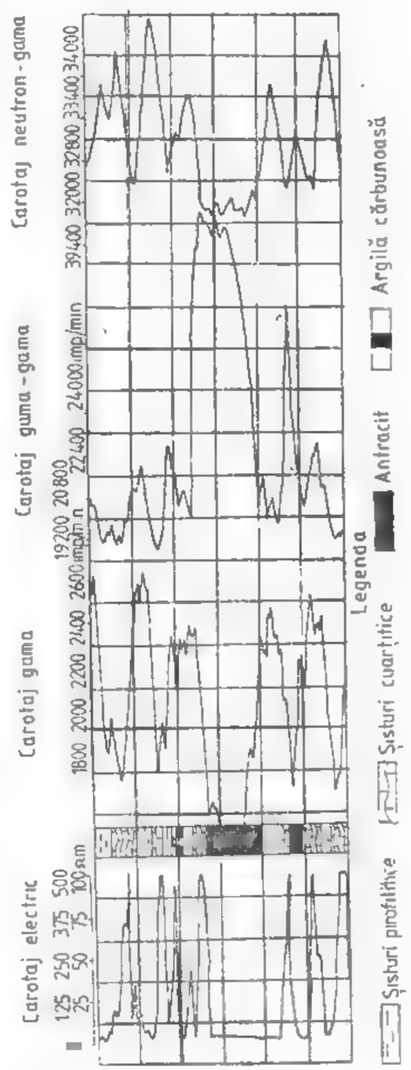


Fig. XIII.27. Identificarea antracitelor din zona *Viezuroiu* după diagrafia geofizică (după IPLGS).

metode de carotaj radioactiv (gama, gama-gama și neutron-gama). Antracitele se manifestă prin minime pe carotajul gama și maxime evidente pe carotajul gama-gama, datorită contrastului de densitate important (de circa 0,6 g/cm^3)pe care-l realizează în raport cu gresiile și gresiile argiloase adiacente. Plasarea limitelor și determinarea grosimii stratului de antracit sînt asigurate cu ajutorul curbelor de rezistivitate și gama-gama. Curba neutron-gama răspunde la conținutul în hidrogen al stratului de antracit; minimul înregistrat se explică prin apa din noroi care pătrunde în stratul de cărbune pe raza de investigație a dispozitivului utilizat.

În mod asemănător se manifestă stratele de antracit în alt context geologic, față de șisturile cuarțitice și pirofilitice adiacente, la *Viezuroiu* (fig. XIII. 27). Rezistivitatea foarte mică și constantă poate fi pusă în legătură cu omogenitatea stratului de cărbune. Se observă că în acest caz, PS-ul, deși ușor electropozitiv, nu mai este definitoriu ca în cazul precedent. Șisturile pirofilitice, deși au rezistivitate mică, se diferențiază net de stratele de cărbuni prin amplitudini mari pe curba radiației gama naturale; la rîndul lor, șisturile cuarțitice se separă de șisturile pirofilitice prin rezistivitate mare și radioactivitate scăzută.

Huilele pot fi identificate pe baza valorilor mari ale rezistivității și radiației gama dispersate. Modul de manifestare pe curba radiației gama naturale depinde de conținutul în cenușă. Huilele cu conținut mare în cenușă, ca și șisturile cărbunoase dau maxime pe curba gama, iar cele cu conținut mic în cenușă, minime. Pe curbele neutron-gama, huilele se remarcă prin minime, cu observația că amplitudinea anomaliei variază în funcție de conținutul în apă.

Cărbunii bruni și lignitul se separă relativ simplu, comparînd curbele de rezistivitate aparentă, gama, gama-gama și neutron-gama. Rezistivitatea lignitului, de regulă mai mare decît a rocilor adiacente, poate varia într-un domeniu larg în funcție de conținutul în cenușă și umiditate. Minimul de radioactivitate naturală asociat cu maximul de pe curba gama-gama de densitate reprezintă un criteriu sigur de identificare a lignitului, ca de altfel și a altor tipuri de cărbuni.

Un exemplu deosebit de sugestiv de identificare a cărbunilor după diagrafia geofizică este dat în fig. XIII.28, pentru o sondă din *Valea Jiului* (Lonea). Curbele gama-gama și de rezistivitate permit delimitarea cu mare precizie, pe de o parte a cărbunilor, iar pe de altă parte a intercalațiilor sterile. Grosimea netă a cărbunilor, după cum este cunoscut, reprezintă un parametru important pentru evaluarea corectă a rezervelor.

Deși radioactivitatea naturală scăzută a cărbunilor este o caracteristică generală, nu se poate folosi exclusiv acest criteriu, deoarece există cărbuni cu radioactivitate, uneori mai mare decît a argilelor adiacente. Cărbuni radioactivi au fost întîlniți în bazinul *Văii Jiului* (Bacîru, 1966) și pe zonele mai noi, încă în explorare, din județul *Mehedinți* (*Prunișor, Livezile, Husnicioara, Ghelmegioaia*).

În fig. XIII.29 se prezintă un exemplu de diagrafie geofizică complexă a unei sonde din zona *Prunișor*. Este de observat mai întîi că diagrafia electrică permite determinarea naturii litologice a formațiunilor traversate de sondă și separarea orizonturilor poroase-permeabile, în particular, a orizonturilor acvifere, dar nu identifică stratele de cărbuni. Carotajul radioactiv, mai ales carotajul gama-gama, identifică stratele de cărbuni prin valori foarte mari în raport cu rocile adiacente (argile, nisipuri). Carotajul radiației gama naturale a pus în evidență existența unor cărbuni radioactivi.

Pe baza celor cîteva exemple prezentate se poate deduce cu ușurință capacitatea carotajului geofizic de a indica natura litologică a formațiunilor și a identifica stratele de cărbuni; de asemenea, carotajul geofizic asigură delimitarea unor repere caracteristice, inclusiv a stratelor de cărbuni radioactivi, care s-au dovedit a fi de o importanță deosebită în realizarea sinonimiei stratelor de cărbuni și clarificarea condițiilor structurale și de

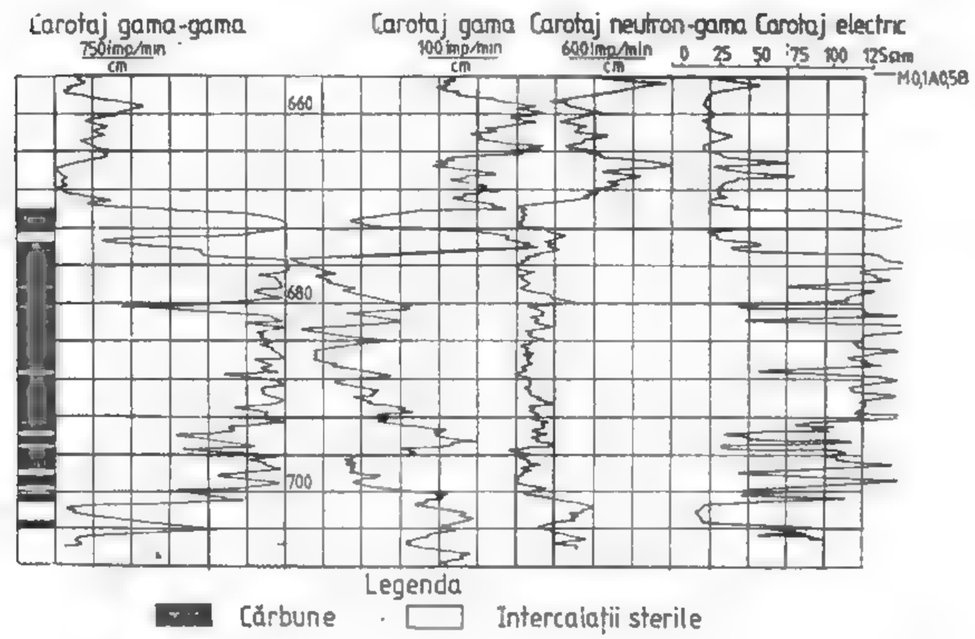


Fig. XIII28. Diagrafie geofizică complexă pentru identificarea cărbunilor în *Valea Jiului* (Lonea) (după IFLGS).

zăcămînt, mai ales cînd reperele identificate au o extindere regională. Este cunoscută importanța reperului de corelare numit *reper de bază*, identificat pe diagrafia radioactivă în corelarea pe baze obiective a stratelor de cărbuni în bazinul *Văii Jiului* (Bacîru, 1966).

Carotajul geofizic asigură delimitarea în profilul traversat a formațiunilor poroase-permeabile, care în majoritatea cazurilor corespund unor orizonturi acvifere. O informație deosebit de utilă obținută din carotajul geofizic este identificarea acviferelor cu nivel liber și determinarea poziției nivelului hidrostatic. Un exemplu de acest fel se vede în fig. XIII.30, în care poziția nivelului hidrostatic este marcată printr-un salt de rezistivitate caracteristic, controlat și corelat foarte bine cu un salt de același fel pe curba neutron-gama. Deoarece un astfel de *model* poate fi asociat și unei treceri de la un orizont nisipos curat în partea superioară, la un orizont mai argilos în partea inferioară sau unei schimbări în dimensiunile granulelor de nisip, pe o zonă specifică, datele carotajului geofizic trebuie să fie completate cu determinări directe ale nivelului hidrostatic în sondele de cercetare hidrogeologică.

Implicațiile unor astfel de informații indirecte, în proiectarea și realizarea lucrărilor miniere de explorare și exploatare, sînt evidente.

Identificarea și delimitarea calitativă, precum și evaluarea cantitativă complexă a cărbunilor pot fi făcute dacă programul de investigare realizat cuprinde cele mai moderne metode de carotaj: acustic, densitate, neutron-neutronic, gama, microcarotaj, laterolog și cavernometrie. În țara noastră o astfel de evaluare a fost realizată de *Negoiță* (1980) pentru stratele de cărbuni cuprinse într-o succesiune nisipuri-argile.

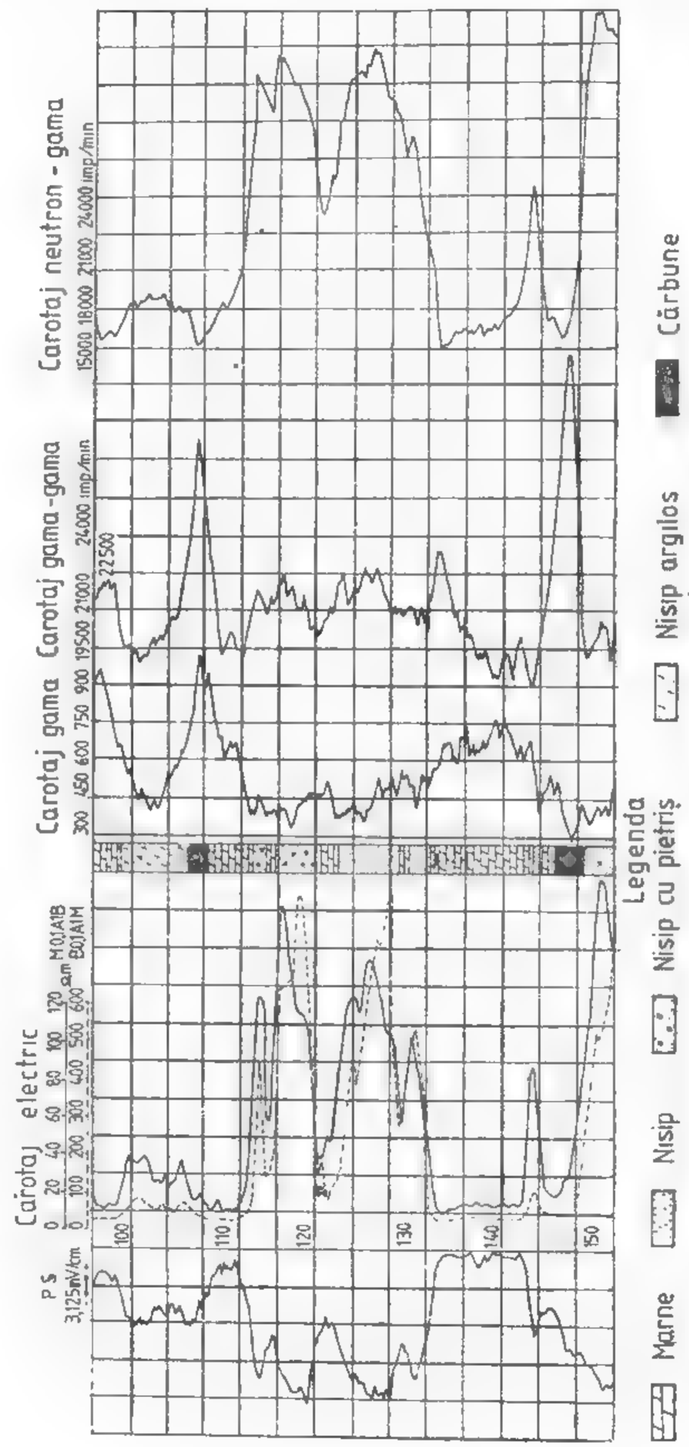


Fig. XIII.29. Diagrafie geofizică complexă pentru cărbuni în zona *Prunișor*, jud. Mehedinți (după IFLGS).

Determinarea conținutului în cenușă al cărbunilor. Pentru aprecierea calității stratelor de cărbuni, unul dintre parametrii principali care trebuie să fie cunoscuți este conținutul în cenușă. Pentru aceasta, *metoda gama-gama de densitate* are cea mai largă aplicabilitate. Deoarece densitatea impurităților minerale este mai mare decît densitatea

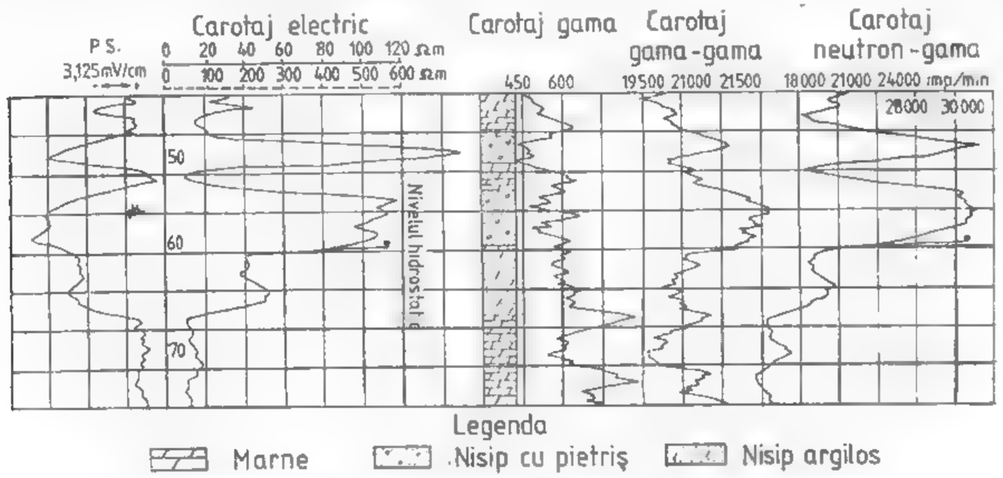


Fig. XIII.30. Exemplu de determinare a nivelului hidrostatic în acviferele cu nivel liber din zona *Prunișor*, după diagrafia geofizică.

masei cărbunoase de orice tip, creșterea conținutului în cenușă se manifestă într-o creștere corespunzătoare a densității. Între conținutul în cenușă și densitate există o dependență aproape funcțională, liniară, de tipul celei prezentate în fig. XIII.31. Astfel, dacă se dispune de un carotaj gama-gama de densitate calibrat în unități de densitate, este posibil

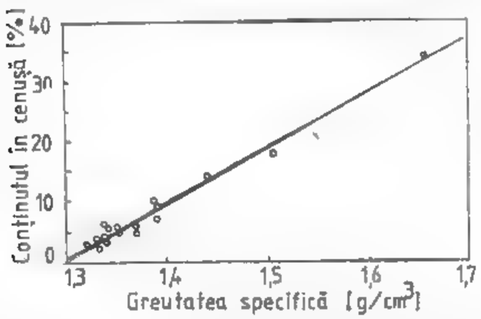


Fig. XIII.31. Dependența între densitate și conținutul în cenușă (după Tixier și Alger).

să se construiască graficul dependenței conținutului în cenușă de densitate pentru stratele în care aceasta este cunoscută prin analize de laborator. O dată determinată această dependență pentru anumite strate sau complexe carbonifere, la sondele noi, evaluarea conținutului în cenușă este imediată.

Pentru estimarea conținutului în cenușă a cărbunilor se poate utiliza, de asemenea, *carotajul radiației gama naturale*, plecînd de la constatarea că cenușa este constituită în cea mai mare parte din argilă. Astfel, cu cît cantitatea de cenușă este mai mare, cu atît radioactivitatea cărbunilor este mai mare. O dată stabilit caracterul dependenței

dintre intensitatea radiației gama naturale și conținutul în cenușă pentru un anumit orizont sau strat de cărbune, diagramele înregistrate în sonde noi care au traversat aceste strate pot fi folosite foarte simplu la determinarea conținutului în cenușă, fără a fi nevoie de carotaj mecanic.

Problema se reduce, deci, la determinarea conținutului în argilă după curba gama. Se calculează mai întîi parametrul:

$$\Delta J_{\gamma,x} = \frac{I_{\gamma,x} - I_{\gamma,min}}{I_{\gamma,max} - I_{\gamma,min}},$$

unde: $I_{\gamma,max}$ este radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat de argilă;
$I_{\gamma,min}$ — radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat fără argilă (nisipuri, gresii, calcare sau chiar strate de cărbuni);
$I_{\gamma,x}$ — radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat cu conținut x în argilă.

Apoi, conținutul în argilă se calculează cu relațiile:

$$C_{a,\gamma} = 0{,}083\ (23{,}7\Delta J_{\gamma} - 1{,}0),$$

pentru formațiuni terțiare și,

$$C_{a,\gamma} = 0{,}33\ (22\Delta J_{\gamma} - 1{,}0),$$

pentru formațiuni geologice mai vechi.

Graficul din fig. XIII. 32 rezolvă ecuațiile de mai sus

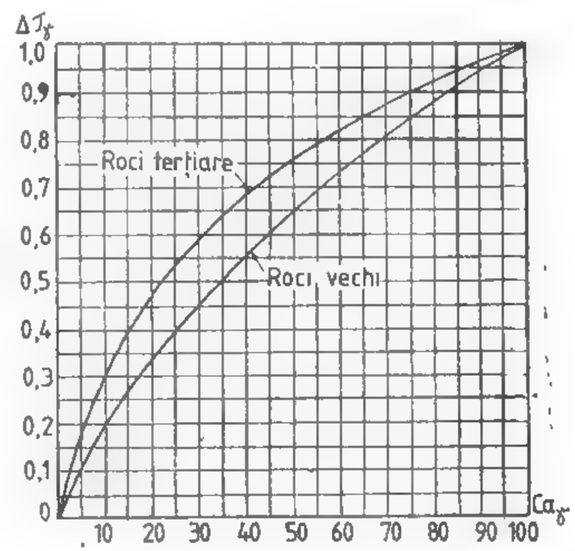


Fig. XIII.32. Graficul de determinare a conținutului în argilă după carotajul gama (după Dresser Atlas).

Procedeul are două limitări și anume:

— cenușa are o compoziție complexă și, pe lîngă substanța argiloasă, conține cuarț și alte formațiuni minerale depuse pe crăpăturile cărbunilor, care nu sînt radioactive;

— radioactivitatea cărbunilor este determinată nu numai de conținutul în argilă ci și de concentrarea unor substanțe radioactive în masa cărbunilor.

Totuși, această cale de determinare a conținutului în cenușă poate fi utilizată, deoarece carotajul gama intră în complexul curent de investigare a sondelor săpate pentru cărbuni.

Pentru determinarea conținutului în cenușă pot fi experimentate și aplicate și alte procedee indirecte, plecînd de la datele carotajelor de rezistivitate gama-gama selectiv, neutron-gama sau de activare.

2.5.2. ȘISTURI BITUMINOASE

Carotajul geofizic este aplicat cu succes la identificarea, delimitarea și evaluarea șisturilor bituminoase. Programul de investigare este în general complex, alcătuit din carotaj electric, radioactiv (gama, gama-gama și neutronic), acustic și cavernometrie. Un exemplu dintr-o sondă de explorare din zona *Anina* este prezentat în fig. XIII.33.

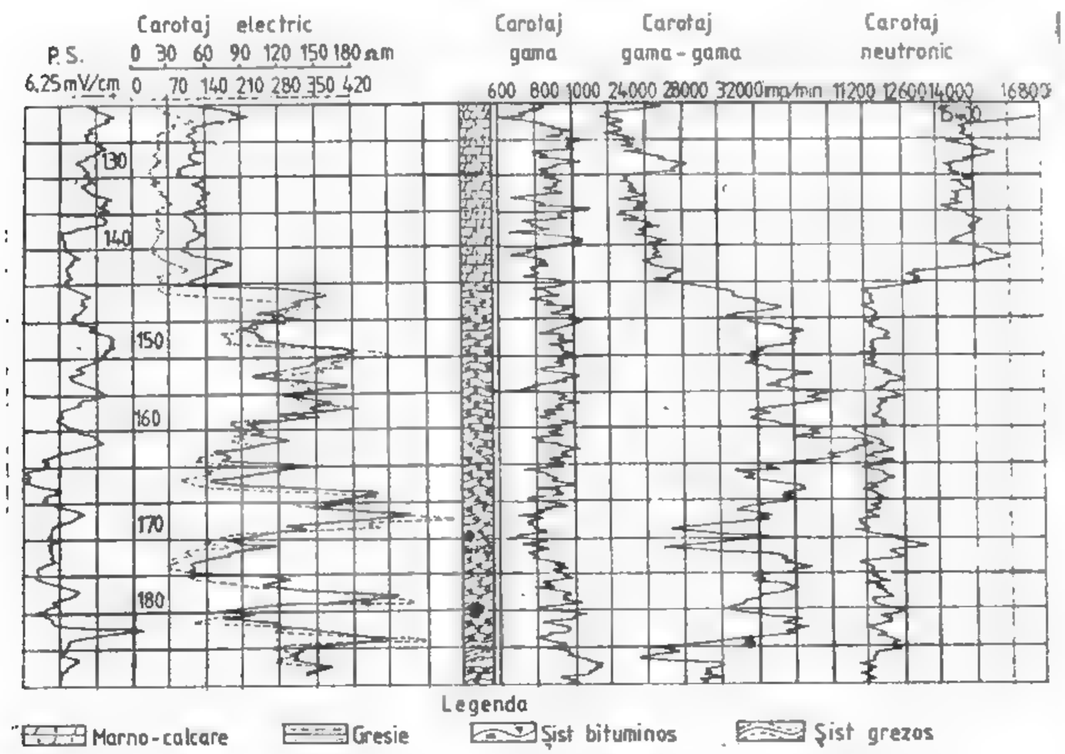


Fig. XIII.33. Diagrafie geofizică complexă pentru șisturi bituminoase în zona *Anina* după IFLGS).

Șisturile bituminoase sînt delimitate cu siguranță, în raport cu marnocalcarele adiacente superioare, atît prin carotajul de rezistivitate cît și prin carotajele gama-gama de densitate și neutron-gama. Conținutul în materie organică al șisturilor explică rezistivitatea mare, densitatea mică (maxime pe curba gama-gama) și conținutul mare în hidrogen (minim pe curba neutron-gama). Curba radiației gama naturale nu diferențiază, de regulă, șisturile bituminoase în raport cu marnocalcarele superioare, dar, poate preciza limita inferioară a pachetului de șisturi la intrarea în gresii în care, de obicei, forajele de explorare sînt oprite.

Variația conținutului în materie organică a șisturilor bituminoase este pusă în evidență cel mai bine prin modificarea densității rocii. De altfel, carotajul de densitate s-a aplicat cu succes la evaluarea cantitativă a șisturilor bituminoase (Smith et al., 1968). Unele limitări apar datorită existenței în masa șisturilor a unor cristale de $NaHCO_3$ cu o densitate mult mai mică decît a fracțiunii mineralogice pelitice și de existența unor goluri rămase în masa rocii prin dizolvarea acestui mineral. În ambele cazuri, în carotaj se înregistrează o densitate mai mică, nelegată de creșterea conținutului în materie organică.

Pe baza corelației între conținutul de materie organică și densitatea înregistrată în carotaj, pentru fiecare zonă cercetată pot fi stabilite, cu metodele standard de regresie, ecuațiile care leagă răspunsul carotajului de densitate de conținutul util. O dată stabilită o astfel de corelație, pentru sondele noi de explorare este suficient să se înregistreze numai carotajul de densitate; în acest caz conținutul în materie organică al șisturilor bituminoase, în orice etapă a explorării, poate fi cunoscut cu o precizie suficient de bună.

XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Ing. VIOREL VIERESCU
Dr. ing. IULIU SILAȘ

1. PRINCIPII GENERALE

Fondul național de rezerve geologice de substanțe minerale utile se constituie pe baza rezervelor geologice evaluate pe zăcămintele de substanțe minerale utile, luînd în considerare datele rezultate din lucrările de prospecțiune, explorare și exploatare, precum și din studiile tehnologice, tehnice și economice efectuate în diferite etape.

Rezervele geologice reprezintă cantitățile de substanță minerală utilă caracterizată din punct de vedere al calității și al condițiilor de zăcămînt, în funcție de gradul de cunoaștere realizat prin lucrările executate, calculate așa cum se găsesc în zăcămînt, fără a lua în considerare modificările ce pot surveni în procesul de exploatare (pierderi, diluții).

Cantitatea se exprimă în *tone* (t) aproape la toate substanțele și în *metri cubi* (m^3) în mod special la rocile de construcție (marmură, nisip și pietriș etc.).

Calitatea este diversificată în funcție de substanță și, de obicei, exprimă elementul util sau dăunător în *procente* (%) la minereuri neferoase, feroase, bauxită și altele sau *grame/tonă* (g/t) pentru minereuri auro-argentifere, elemente rare; pentru unele substanțe nemetalifere și roci utile calitatea este caracterizată de o serie de parametri fizici (*grad de alb* la caolin, *indice piroметric* la argile refractare etc.), iar pentru cărbuni — *putere calorifică, procent de cenușă, umiditate* etc.

Evaluarea rezervelor geologice constituie totalitatea operațiilor care, luînd ca bază datele rezultate din lucrările de cercetare geologică și exploatare, conduce la stabilirea cantității, calității și condițiilor unui zăcămînt, pe o porțiune delimitată precis în spațiu.

Pentru a evita și micșora pe cît posibil erorile și uneori subiectivismul de care este legată evaluarea rezervelor, urmare selecționării datelor și interpretărilor geologice și pentru a obține elemente de calcul cît mai aproape de realitate, se impune respectarea cu stricteță a cîtorva principii de bază:

— parametrii care exprimă cantitatea (grosime, masă volumetrică) și parametrii care exprimă calitatea să fie determinați din același loc și pe baza aceleiași probări;

— evaluarea să fie făcută pe unități de calcul, delimitate precis în spațiu;

— să existe o identitate perfectă între reprezentarea geologică și cea folosită la calculul rezervelor pe profile, secțiuni orizontale, unități de calcul și în ansamblu;

— să se urmărească ca punctele de probare să fie amplasate pe o rețea cît mai regulată; cu cît zăcămîntul este mai neuniform și complicat, cu atît rețeaua să fie mai deasă, iar lucrările mai regulat amplasate;

— în cadrul fiecărei etape de cercetare, la nivelul corespunzător gradului de detaliere și cunoaștere propus, să se efectueze studii tehnologice, tehnice și economice, avînd în vedere că noțiunea de rezervă geologică este în strînsă legătură cu noțiunea de zăcămînt, care în ultimă instanță reprezintă o entitate economică;

— pentru a aprecia gradul de precizie realizat, în toate etapele să se efectueze calcule statistice și geostatistice și să se creeze posibilitatea comparării datelor, în anumite zone din zăcămînt, cu datele de detaliu realizate pe porțiuni restrînse în același zăcămînt;

— să se evite supraevaluarea rezervelor cu un mic grad de cunoaștere, considerîndu-se că corectarea rezervelor se va face ulterior prin promovarea acestora de la o categorie inferioară la alta superioară;

— în toate operațiile de calcul și clasificare a rezervelor să se țină seama de toți factorii geologici și în mod deosebit de tendințele de efilare, slăbire și discontinuitate a mineralizației, grad de tectonizare, oxidare etc.

2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE

2.1. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE CUNOAȘTERE

După *gradul de cunoaștere*, rezervele geologice se clasifică în categoriile A, B, C_1 și C_2 și rezerve de prognoză (D).

Rezervele A, B și C_1 se calculează pe baza parametrilor măsurați (rezerve măsurate).

Rezervele C_2 se calculează pe bază de parametri deduși sau indicați (rezerve indicate).

Rezervele de prognoză (D) se estimează pe bază de parametri presupuși sau ipotetici (rezerve ipotetice).

Suma rezervelor $A + B + C_1 + C_2 + D$ o constituie resursa totală sau potențială a unei zone sau provincii metalogenetice luată în ansamblul său.

Pentru gradul de cunoaștere, pînă în prezent în normativele în vigoare nu sînt stabilite condiții impuse exprimate valoric; de regulă clasificarea rezervelor în categorii se face pe baza unor criterii sau aprecieri.

Orientativ se pot avea în vedere pentru cantitatea de substanță utilă (de exemplu metalul în minereurile neferoase) procentele de certitudine cuprinse în tabelul XIV.1 care caracterizează gradul de cunoaștere (sau gradul de certitudine).

Tabelul XIV.1

Certitudinea rezervelor după gradul de cunoaștere, în %

Specificație	A	B	C_1	C_2	D
Pe unitatea de calcul	70	60	50	25	—
Pe întregul zăcămînt	90	80	70	50	30
Pe întreaga zonă sau provincie metalogenetică	—	—	—	—	25

Clasificarea în categorii (A, B, C_1 şi C_2) a rezervelor cuprinse în limitele unităţilor de calcul constituie o operaţie complexă şi se face aplicînd cu mult discernămînt criteriile prevăzute în normativele în vigoare, ţinînd seama de clasa în care este încadrat zăcămîntul.

Încadrarea zăcămintelor în clase se face pe baza factorilor naturali determinaţi în mare măsură de condiţiile de zăcămînt.

Normele metodologice în vigoare cuprind 3 clase de zăcăminte:

Zăcămintele din clasa I-ă au forme şi contur regulat, o variaţie mică a distribuţiei componenţilor utili şi prezintă dimensiuni mari.

Zăcămintele din clasa a II-a au forme şi contur neregulat, o variaţie relativ mică a distribuţiei componenţilor utili şi sînt de dimensiuni mijlocii.

Zăcămintele din clasa a III-a au forme şi contur foarte neregulat, o variaţie mare a distribuţiei componenţilor utili şi sînt de dimensiuni variate.

Definirea generală a categoriilor de rezerve are la bază următoarele criterii:

Rezervele de prognoză (D) sînt estimate şi apreciate pe baza factorilor şi condiţiilor geologice generale care pot fundamenta emiterea unei ipoteze privind formarea şi acumularea substanţelor minerale utile solide în unele regiuni, în vederea aprecierii perspectivelor acesteia; de asemenea, sînt estimate în extinderea rezervelor de categoria C_2.

Categoria C_2 cuprinde rezervele cercetate cu lucrări izolate, în număr mic şi la distanţe mari, sau extrapolate de la rezervele de categorii superioare.

Categoria C_1 cuprinde rezervele calculate prin interpolarea datelor între lucrări miniere şi foraje, executate separat sau împreună, prin extrapolarea de la rezervele de categoria A şi B, precum şi prin extinderea datelor obţinute într-un aliniament de cercetare, de o parte şi de alta a acestuia (la zăcămintele din clasa I şi II).

Categoria B cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau trepte de carieră şi rezervele calculate prin interpolare între lucrările miniere sau foraje executate separat sau împreună, la o reţea corespunzătoare clasei respective.

Categoria A cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau în trepte de carieră; există rezultate confirmate prin exploatare.

Definirea generală a categoriilor de rezerve se completează cu criteriile ce condiţionează clasificarea rezervelor în categorii care sînt: obligatorii, orientative şi aprecieri.

Criteriile obligatorii se aplică indiferent de clasa în care este încadrat zăcămîntul, după cum se arată în tabelul XIV.2.

Criteriile orientative se referă în principal la:

— clasificarea în categorii pe baza condiţiilor impuse de gradul de cunoaştere exprimat în % (tabelul XIV.1), care se determină pe bază de calcule statistice şi geostatistice;

— executarea unei anumite reţele de lucrări şi delimitarea panoului de un anumit număr de laturi, în funcţie de substanţă şi clasa în care este încadrat zăcămîntul; este indicat ca reţeaua să se stabilească pe bază de studii statistice şi geostatistice care ulterior să fie verificate prin analize cu privire la gradul de regăsire al rezervelor în procesul de producţie. În tabelul XIV.3 se prezintă reţeaua de lucrări care orientativ poate servi la explorarea şi clasificarea rezervelor în categorii pentru minereuri neferoase.

Aprecieri. În general, parametrii privind cantitatea rezervelor, calitatea acestora precum şi condiţiile de zăcămînt sînt:

— presupuse la rezervele de prognoză (D)

— cunoscute orientativ la categoria C_2;

— cunoscute informativ la categoria C_1;

— cunoscute la categoria B;

— cunoscute în detaliu la categoria A.

Tabelul XIV.2

Criteriile obligatorii de încadrare a rezervelor în categorii

Specificaţie	A	B	C_1	C_2	D
Etapa de cercetare					
Prospecţiune	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Explorare					
— preliminară	Nu	Nu	Da	Da	Nu
— de detaliu	Da	Da	Da	Nu	Nu
Exploatare	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
Studii tehnologice					
Laborator	Nu	Nu	Nu	Da	Nu
Pilot	Nu	Nu	Da	Nu	Nu
Semiindustrial	Nu	Da	Nu	Nu	Nu
Industrial	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
Studii economice					
Aprecieri	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Studii de etapă	Nu	Nu	Da	Da	Nu
Studii de condiţii industriale	Da	Da	Da	Nu	Nu
Studii economice, proiecte de exploatare	Da	Da	Nu	Nu	Nu

Tabelul XIV.3

Clasificarea rezervelor pe categorii după gradul de cunoaştere (conturare)

Încadrarea zăcămîntului	Lucrări de explorare	A	B	C_1	C_2
Clasa I	Lucrări miniere 50 m / 100 m	3 laturi	2 laturi	1 latură	—
	Foraje dispuse pe o reţea pătratică sau dreptunghiulară	—	50—100m	100—200 m	peste 200 m
Clasa II	Lucrări miniere 50 m / 50 m	4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi	1 latură
	Foraje	—	—	50—100m	100—200m
Clasa III	Lucrări miniere 25 m / 50 m	—	3—4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi
	Foraje	—	—	—	50—100 m

2.2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE PREGĂTIRE

După *gradul de pregătire*, ţinînd seama de condiţiile impuse de producţie, rezervele geologice se împart în:

— *rezerve deschise*, care au condiţiile create pentru a începe, în raza lor, lucrările de pregătire în vederea exploatării, avînd asigurate posibilităţile de transport al materialului în condiţiile de securitate minieră;

— *rezerve pregătite* sau *gata pentru exploatare* unde pot începe lucrările de abataj impuse de metoda aleasă, în condiţii totale de securitate minieră;

— *rezerve în curs de exploatare* situate în panourile intrate în exploatare.

2.3. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ POSIBILITĂŢILE DE VALORIFICARE

După *posibilităţile de valorificare*, în condiţiile tehnico-economice existente şi în perspectivă, rezervele geologice se clasifică în următoarele grupe:

— *rezerve geologice de bilanţ*, cuprinzînd rezervele care din punct de vedere tehnic şi economic pot constitui obiect de valorificare în condiţiile cerinţelor actuale ale economiei naţionale, fără restricţii impuse de avizele legale (construcţii, amenajări hidrotehnice, terenuri agricole, rezervaţii, monumente etc.);

— *rezerve geologice în afară de bilanţ*, cuprinzînd rezervele care în prezent nu pot constitui obiect de valorificare, în condiţiile cerinţelor economiei naţionale, dar se apreciază că prin progresul tehnic sau prin schimbarea condiţiilor economice actuale, pot fi valorificate în viitor.

2.3.1. CONDIŢII INDUSTRIALE ALE ZĂCĂMINTELOR

Indiferent de stadiul de cercetare în care se află zăcămîntul, concomitent cu evaluarea rezervelor este necesar să se stabilească sau să se aprecieze în linii mari şi condiţiile economice, în vederea clasificării rezervelor în bilanţ sau în afară de bilanţ.

Pentru a putea fi valorificate, zăcămintele trebuie să îndeplinească unele cerinţe privind cantitatea, calitatea, condiţiile de zăcămînt geologice-miniere precum şi condiţiile economice de valorificare, denumite *condiţii industriale*.

Principalele condiţii industriale pe tipuri de zăcămînt sînt:

a) **Pentru minereuri neferoase, auro-argentifere, feroase:**

— *conţinutul mediu minim* în component util echivalent al rezervelor clasificate în grupa de bilanţ pe întreg zăcămîntul;

— *conţinutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa de bilanţ;

— *conţinutul minim limită* în component util echivalent pe probe, pe baza căruia se face conturarea rezervelor de bilanţ în cazul existenţei unor treceri gradate de la util la steril;

— *conţinutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa în afară de bilanţ;

— *conţinutul mediu maxim* admis pe unitatea de calcul, pentru componenţii dăunători, în vederea conturării rezervelor de bilanţ.

Caracteristicile principale care determină separarea sorturilor industriale:

— *coeficientul de mineralizare* minim admis pe unitatea de calcul în cazul existenţei intercalaţiilor sterile care nu pot fi conturate pe baza lucrărilor de cercetare executate, dar care pot fi îndepărtate în procesul de exploatare;

— *grosimea maximă admisă* a intercalaţiilor sterile care se includ în calculul rezervelor;

— *grosimea minimă* a corpurilor de substanţă minerală utilă care se ia în considerare în calculul rezervelor, în funcţie de conţinuturile în componenţi utili şi dăunători sau *puterea minimă* care se defineşte ca produs al grosimii minime cu conţinutul mediu minim pe panou;

— *adîncimile maxime* pînă la care se calculează rezervele de bilanţ respectiv în afară de bilanţ, pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în subteran sau mixt, luîndu-se în considerare şi condiţiile hidrogeologice ale zăcămîntului;

— *coeficientul maxim de descopertare* pentru rezervele exploatabile în carieră.

Conţinutul în component util echivalent se exprimă în unităţi de component util principal şi se calculează în mod distinct pe sorturi industriale, prin echivalerea componenţilor utili secundari în component util principal, ţinînd seama de valoarea componenţilor.

Pentru zăcămintele exploatabile în subteran este necesar să se examineze mai multe variante de conţinut mediu minim pe unitatea de calcul şi zăcămînt, în cazul mineralizaţiilor cu limite nete, iar dacă mineralizaţia are limite difuze, este necesar să se studieze şi variante cu conţinut limită.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră este necesar să se examineze variante de conţinut limită şi conţinut mediu minim pe zăcămînt, variante de adîncime maximă de exploatare în carieră şi în subteran şi de indici de exploatare.

Determinarea parametrilor care definesc condiţiile industriale precum şi detalierea variantelor de calcul se face în funcţie de condiţiile geologice-miniere în care se află zăcămîntul şi de natura substanţei minerale utile.

b) **Pentru cărbuni:**

— condiţiile de calitate se stabilesc pentru puterea calorifică şi conţinutul în cenuşă;

— condiţiile de grosime se referă la grosimea minimă utilă introdusă în calcul cum şi la grosimea maximă a intercalaţiilor sterile care se admit în calcul;

— coeficientul maxim de descopertare constituie, de asemenea, condiţie industrială importantă, pentru stabilirea limitei de exploatare la zi, precum şi repartizarea rezervelor de bilanţ şi în afară de bilanţ, în anumite situaţii.

c) **Pentru substanţe minerale nemetalifere şi roci utile:**

— condiţiile industriale se adaptează de la caz la caz, în funcţie de substanţă, criteriile impuse de domeniul de utilizare şi posibilităţile tehnice şi economice ale exploatării; rocile, de exemplu, se exploatează, în condiţii economice, numai în carieră.

Rezervele industriale reprezintă cantităţile de substanţe minerale utile care pot fi realizate în procesul de exploatare (curent sînt denumite *minereu sau cărbune la gura minei*) şi se stabilesc luînd ca bază rezervele geologice exploatabile, cuprinse într-un perimetru dat, ţinînd seama de o serie de factori determinaţi de metoda de exploatare preconizată (pierderi, diluţie).

Rezervele industriale se calculează în cadrul proiectelor de exploatare şi servesc la dimensionarea producţiei şi a investiţiilor.

3. PARAMETRII DE CALCUL AL REZERVELOR

Parametrii de calcul cantitativi și calitativi se stabilesc ca valori medii ale valorilor individuale obținute din lucrările de cercetare geologică, prin măsurare directă sau prin analize și determinări executate pe probe colectate din aceste lucrări.

Datele care caracterizează condițiile de zăcămînt se obțin prin studii geologice (mineralogice și petrografice), hidrogeologice, tehnologice, care se bazează pe elementele obținute din probările specifice fiecărui studiu în parte.

3.1. PARAMETRII PENTRU CALCULUL CANTITATIV AL REZERVELOR

Pentru calculul cantitativ al rezervelor este necesară determinarea parametrilor grosime, suprafață și greutate volumetrică.

Grosimea zăcămîntului se măsoară în mod obligatoriu numai în secțiunile de probare care în totalitate sau fracționat cuprind mineralizația din acoperiș pînă în culcuș. La zăcămintele complicate, cu o mineralizație dispusă foarte neuniform, în anumite cazuri de excepție se pot măsura în plus și grosimile la intervale regulate, situate între secțiunile de probare.

În cazul zăcămintelor care prezintă mare uniformitate a parametrilor calitativi (calcare, andezite, roci de construcție etc.) și nu necesită o probare pe o rețea deasă, grosimea se poate măsura și numai pe bază de cartare a lucrărilor sau deschiderilor naturale dispuse transversal pe zăcămînt.

De regulă, grosimea se măsoară perpendicular pe direcția generală a zăcămîntului.

Grosimea se poate determina în lucrări ca:

— grosime *aparentă*, într-o lucrare care străbate zăcămîntul sub un unghi oarecare;
— grosime *reală*, măsurată normal la direcția și înclinarea zăcămîntului;
— grosime *totală*, care cuprinde mineralizația utilă și intercalațiile sterile;
— grosime *utilă*, care cuprinde numai mineralizația utilă.

Grosimea reală se poate obține și din grosimea aparentă, prin corectarea acesteia, ținînd seama de unghiul format de direcția de măsurare a grosimii și normala la planul zăcămîntului.

În cazul zăcămintelor care nu prezintă limite nete, grosimea se stabilește strict numai în cadrul probelor acceptate în calculul conținutului mediu, la limita probelor cu un conținut minim limită (conținut marginal).

Pentru zăcămintele cu mai multe sorturi de minereu, grosimea se stabilește pentru fiecare sort de minereu în parte.

În toate cazurile, grosimea se recalculează după direcții normale la planul în care se măsoară suprafața care se introduce în calculul rezervelor.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în afara grosimii zăcămîntului se determină și grosimea copertei, în vederea stabilirii volumului acesteia și a coeficientului de dezvelire.

În cazul în care calculul rezervelor se efectuează prin metoda secțiunilor, grosimea medie nu intervine, de regulă, ca parametru de calcul.

Suprafața zăcămîntului, în totalitate sau pe unități de calcul, se determină în plan orizontal sau în plan vertical.

Suprafața se determină în planul orizontal pentru corpurile de substanțe minerale utile de formă tabulară (strate, filoane), lentiliformă, cu înclinare pînă la 45° precum și pentru corpurile de substanțe minerale utile izomerice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor orizontale.

Suprafața se determină în planul vertical pentru corpurile de substanță minerală utilă tabulare și lentiliforme cu înclinare peste 45° și pentru corpurile de substanță minerală utilă izometrice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor verticale.

Suprafața se determină de regulă prin proiecție și prin desfășurare.

În cazul zăcămintelor tabulare cu înclinare mare care prezintă schimbări de direcție, ce se mențin pe distanțe care depășesc lungimea unui panou de calcul, este indicat ca proiecția să se execute în planuri diferite, paralele cu direcția medie în porțiunile respective ale corpului de substanță minerală utilă.

La trasarea conturului suprafeței de calcul al rezervelor într-un anumit plan este necesar să se țină seama de felul și amplasarea lucrărilor de explorare ca și de metoda de calcul adoptată.

Suprafața poate fi delimitată prin lucrări de explorare sau de exploatare, pe bază de afloriminte sau prin limite convenționale.

Delimitarea suprafețelor prin punctele extreme de cunoaștere în zăcămînt se face admițînd o variație liniară între acestea.

Între punctele care au interceptat zăcămîntul și cele care nu l-au interceptat, limita suprafețelor luate în calculul rezervelor se stabilește la jumătatea distanței între aceste puncte sau în funcție de grosimea corpului de substanță minerală utilă și de unghiul mediu de efilare.

În afara punctelor extreme de cunoaștere în zăcămînt, limita convențională se stabilește după cum urmează:

— prin procedee geologice, cînd se ține seama de aria de răspîndire a rocilor purtătoare de mineralizație, de prezența elementelor chimice, mineralogice etc.;

— prin procedee morfologice, în cazul zăcămintelor a căror grosime și conținut scad treptat spre periferie (folosindu-se metoda secțiunilor și izoliniilor).

Limita convențională a zăcămintelor se trasează la limita grosimii minime sau conținutului minim limită, dacă sînt stabilite prin studii de condiții industriale, sau efectuîndu-se mai multe variante de calcul pe baza unor criterii stabilite prin analogie cu alte zăcăminte similare.

La stabilirea scării planurilor se va avea în vedere necesitatea de a nu avea dimensiuni ale unităților de calcul mai mici de 5 cm.

Ariile suprafețelor de calcul se determină prin metode geometrice sau prin măsurare cu planimetrul sau cu abaca. În cazul măsurării suprafeței cu planimetrul sau cu abaca se execută trei măsurători. Diferența între ele nu trebuie să depășească 5%, în calcul luîndu-se valoarea medie a acestora.

Masa volumetrică se determină prin studii efectuate avînd la bază rezultatele probării tehnice constînd din:

— probe monolit (eșantioane) luate din locurile de colectare a probelor necesare stabilirii calității zăcămîntului; desimea punctelor de probare se stabilește în funcție de condițiile de zăcămînt (din 10 în 10 probe pînă la 100 pentru zăcămintele uniforme); pe aceste probe monolit se face determinarea masei volumetrice în laborator;

— probe globale, prelevate în zone cu caracteristici calitative medii, raportîndu-se masa materialului obținut la volumul excavațiilor; excavațiile pot să difere de la

1 m³ pînă la sute de m³ atunci cînd probarea se face colectînd întregul material rezultat dintr-o galerie care traversează zăcămîntul.

Pe baza cercetărilor amănunţite efectuate în lucrările care străbat zăcămîntul se stabileşte şi un coeficient atribuit fisuraţiilor şi golurilor care nu pot fi determinate prin probele monolit şi care în mod evident diminuează masa volumetrică.

3.2. STABILIREA CARACTERISTICILOR CALITATIVE ALE REZERVELOR

Pentru stabilirea caracteristicilor calitative se prelevează probe *chimice* sau *tehnice* adecvate tipului mineralizaţiei şi scopului propus privind valorificarea.

Probarea chimică serveşte la stabilirea conţinutului în componenţi utili şi dăunători, cuprinzînd 4 operaţii principale : recoltarea, reducerea probelor, analiza chimică sau fizică, prelucrarea rezultatelor.

Recoltarea implică alegerea metodei de probare, stabilirea intervalului optim între probe, determinarea greutăţii optime a probei iniţiale.

Pot fi aplicate mai multe metode de probare, în funcţie de caracteristicile zăcămîntului (formă, dimensiuni, distribuţia în spaţiu a mineralizaţiei şi a componenţilor utili şi dăunători), de metodica şi etapele de cercetare (prospecţiune, explorare, exploatare), de starea minereului (dur, compact, afînat) şi de scopul urmărit.

Cele mai obişnuite metode de colectare a probelor sînt : prin *brazde*, prin *puncte în reţea*, prin *răzuire*, prin *găuri de mină*, prin *secţionarea carotelor, globală* etc. (v. Secţiunea XII. Probarea zăcămintelor). Metoda de colectare a probelor influenţează direct rezultatele obţinute.

Distanţa între punctele de colectare a probelor permite aprecierea gradului de cunoaştere ce poate fi obţinut, determinînd costul lucrărilor de probare şi caracterul reprezentativ al probării.

Distanţa optimă între probe se stabileşte experimental sau prin metode statistice.

Probele chimice se colectează din lucrările miniere sau din carotele recuperate din foraje.

În *lucrările miniere* metoda de probare cea mai utilizată este metoda brazdelor. Lăţimea brazdei este de circa 10 cm, iar adîncimea de circa 5 cm. Lungimea diferă în funcţie de caracteristicile zăcămîntului, fiind de regulă de 1 m. Poziţia şi modul de execuţie a brazdelor de probare depinde de grosimea zăcămîntului, de înclinarea acestuia şi de lucrările din care se colectează probele. Direcţia brazdelor trebuie să fie cît mai apropiată de direcţia după care variatia componenţilor utili şi dăunători este maximă.

Pentru corpurile de substanţă minerlă utilă de formă tabulară şi grosime foarte mică sau mică, colectarea probelor brazdă se execută din galerii direcţionale şi din suitori, pe înclinare. Poziţia brazdelor se urmăreşte să fie cît mai apropiată de normala la planul caracteristic de poziţie al corpului de substanţă minerală utilă.

Mineralizaţiile (de regulă filoanele auro-argentifere) cu grosimi sub 0,10 m se probează prin răzuire sau prin brazde direcţionale, indiferent de înclinare.

În general, echidistanţa între probele colectate din zăcămintele cu grosime foarte mică şi mică este cuprinsă între 3 şi 10 m, în funcţie de variaţia conţinuturilor în componenţi utili.

În cazul zăcămintelor cu formă tabulară sau de corpuri lenticulare cu grosime medie sau mare şi înclinare mare, precum şi în cazul zăcămintelor cu formă izometrică, probele se colectează în nişe şi transversale de cercetare pe toată grosimea, săpate din galerii direcţionale şi uneori din suitori. Probele se colectează din pereţii laterali ai lucrărilor cu poziţia orizontală şi se iau în brazde continui care se împart pe secţiuni.

În cazul zăcămintelor cu grosime medie sau mare şi înclinare mică se colectează probe verticale continuu (care se împart pe secţiuni) din suitorile verticale.

Pentru zăcămintele cu formă tabulară sau lenticulară cu grosime medie sau mare şi înclinare medie, probarea se execută fie în lucrări miniere orizontale, fie în lucrări miniere verticale care traversează zăcămîntul în întregime de la culcuş la acoperiş.

În cazul zăcămintelor cu formă de masiv, probele se colectează din galerii şi suitori.

Colectarea probelor din carieră se face prin brazde continui împărţite în secţiuni, în funcţie de înălţimea treptei de exploatare sau de grosimea zăcămîntului. Distanţele între punctele de colectare a probelor pe toată înălţimea treptei variază între 25 şi 50 m.

În zăcămintele cu grosime mare la care nu se evidenţiază o lege a distribuţiei în spaţiu a componenţilor utili şi pentru care explorarea se execută printr-o reţea pătratică de lucrări miniere, se probează sistematic toate lucrările executate în zăcămînt.

Locul de colectare a probelor se nivelează întotdeauna înainte de probare.

Pentru *foraje* se cere un recuperaj minim în util de 80%.

Colectarea probelor se face de regulă din carotă, iar informativ din detritus. Pentru colectarea probelor din carotă, aceasta se secţionează axial (manual sau mecanic), o parte constituind proba recoltată.

Lungimile secţiunilor de probare variază, în general, între 1 şi 5 m, în raport de gradul de variaţie al repartiţiei componenţilor utili, în funcţie de grosimea zăcămîntului, de lungimea carotelor şi de gradul de recuperare a carotei. Din util, probele se colectează continuu.

Carotajul mecanic se completează cu datele rezultate din carotajul geofizic (v. Secţiunea XIII. Carotajul geofizic).

Reducerea probelor chimice trebuie să asigure obţinerea conţinutului real din locul de colectare. Acest lucru se realizează prin sfărîmare, măcinare, omogenizare şi reducere.

Schema de prelucrare a probelor se alege în funcţie de variaţia distribuţiei componenţilor utili.

La reducerea probelor se utilizează formula : $Q = kd^2$, în care Q este greutatea probei în kg, iar d — diametrul maxim al particulelor din probă în mm. În general, k variază între 0,1 pentru zăcămintele mai uniforme, 0,4 pentru zăcămintele relativ uniforme, pînă la 2,0 pentru zăcămintele extrem de neuniforme.

La fiecare reducere a probei este necesar să se respecte raportul între Q şi d, stabilit de relaţia de mai sus.

Materialul rămas după reducerea probei se împarte astfel încît să se poată executa toate analizele (de bază, de control intern şi extern) şi să se păstreze şi o parte ca martor în magazia de probe.

În general, pentru determinarea conţinuturilor în componenţi utili şi dăunători secundari, este indicată unificarea probelor, cu scopul de a se reduce numărul de analize şi a mări operativitatea probării.

Unificarea probelor se face după reducerea acestora, luînd din fiecare probă cantităţi proporţionale cu greutatea lor. În general, lungimea pe care s-au colectat mai multe probe ce se supun unei singure analize nu trebuie să depăşească 10 m. Întotdeauna gruparea probelor se face pe sorturi.

Analizarea probelor de bază, control extern şi intern al analizelor chimice în scopul verificării exactităţii analizelor de bază. Materialul final rezultat de la reducerea

probelor recoltate din lucrările de explorare se expediază la un laborator autorizat, care are omologate metodele de determinare pentru componenţii indicaţi.

Pentru verificarea exactităţii analizelor de bază se execută controlul intern şi controlul extern.

Controlul intern se execută la laboratorul de bază, în proporţie de 5—10% sau pentru fiecare a 10-a sau a 20-a probă (minimum 10—15 probe pe trimestru) şi are ca scop scoaterea în evidenţă a erorilor incidentale influenţate de modul de lucru al laboratorului.

Dacă analizele de control intern pun în evidenţă erori incidentale ce depăşesc limitele admise, stabilite pentru fiecare substanţă separat, datele analizelor de bază din perioada la care se referă controlul intern nu se introduc în calculul rezervelor.

Controlul extern se execută într-un laborator autorizat şi are ca scop evidenţierea unor erori sistematice în lucrările laboratorului chimic de bază în cursul unei perioade. Prin control extern se verifică şi datele de analiză sau conţinuturile exagerat de mari.

Controlul extern se execută în proporţie de minimum 5% sau pentru fiecare a 20-a probă, iar pentru a stabili un coeficient de corecţie sînt necesare minimum 10% din numărul analizelor de bază. Numărul probelor pentru care se execută controlul extern nu trebuie să fie mai mic de 30.

Pe măsura obţinerii datelor de la laboratorul de bază, conţinuturile se calculează pe lucrări de explorare, pe suprafeţe conturate în corpul de substanţă minerală utilă explorat, pe unităţi de calcul (panouri, blocuri etc.).

Conţinuturile medii calculate pe lucrări, pe aliniamente de explorare sau pe suprafeţe conturate, constituie valori intermediare în calculul conţinuturilor medii pe panouri.

Cele mai uzuale procedee de calcul al conţinuturilor medii sînt *procedeul mediei aritmetice* şi *procedeul mediei ponderate*.

a) *Procedeul mediei aritmetice*, foloseşte pentru calcularea conţinutului mediu relaţia :

$$c_m = \frac{\Sigma c_i}{n}$$

în care: c_m este conţinutul mediu ; c_i — conţinutul pe probă individuală ; n — numărul probelor.

b) *Procedeul mediei ponderate* implică un volum mare de calcule şi din acest motiv nu se aplică decît în anumite cazuri şi anume :

— în cazul probelor colectate pe secţiuni cu lungimi variabile (l_i), calculul conţinuturilor medii pe lucrări (c_m) se face prin *medie ponderată în raport cu lungimile secţiunilor probelor*, cu formula :

$$c_m = \frac{\Sigma c_i \cdot l_i}{\Sigma l_i}$$

în care : c_i este conţinutul mediu pe secţiune, care se calculează cu aceeaşi formulă, iar l_i şi c_i reprezintă valorile pe probe; l_i — lungimile probelor respective ;

— pentru un număr limitat de probe (10—15), dispuse neuniform pe panoul de calcul sau a căror date de analiză prezintă variaţii mari, *prin ponderare în raport cu lungimea L_i a zonei de influenţă a secţiunilor*, cu formula :

$$c_m = \frac{\Sigma c_i L_i}{\Sigma L_i}$$

în care : c_m este conţinutul mediu ; c_i — conţinutul pe probe individuale ; L_i — lungimea de influenţă ;

— calculul prin *ponderare în raport cu lungimea secţiunii de probare* (grosimea g_i a zăcămîntului măsurată în transversale) *şi cu zona de influenţă L_i* se face cu formula :

$$c_m = \frac{\Sigma c_i g_i L_i}{\Sigma g_i L_i}$$

în care : c_m este conţinutul mediu ; c_i — conţinutul pe probe individuale ; g_i — grosimea zăcămîntului măsurată în locul de probare ; L_i — lungimea de influenţă.

— în cazul explorării prin foraje, calculul se face prin *ponderare în raport cu volumul teoretic al carotei şi volumul teoretic al detritusului produs pe un metru liniar de gaură de sondă*. Volumul teoretic al carotei şi al detritusului pe un metru liniar de gaură de sondă se calculează prin formule sau se apreciază în procente faţă de volumul găurii de sondă.

Formulele utilizate în acest scop sînt următoarele :

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{100}; \qquad V_d = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\frac{r}{100};$$

V_c şi V_d reprezentînd volumele teoretice de carotă respectiv detritus pe un metru liniar de gaură de sondă ; D şi d — diametrul găurii de sondă respectiv al carotei ; r — recuperajul în util, în %.

În cazul forajului cu alice este necesară trecerea detritusului printr-un separator magnetic, în scopul curăţirii lui de sfărîmături de alice.

Exactitatea analizelor chimice ale probelor se verifică prin *analize de control intern* şi *extern*, care *se prelucrează statistic* în mod periodic, după cum urmează :

Pe baza rezultatelor analizelor de control intern se calculează *eroarea medie întîmplătoare (incidentală) relativă* cu ajutorul formulei :

$$e_m = \frac{\sum_{k=1}^{n} |c_{ik} - c_{bk}|}{2n\bar{c}_b} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care : e_m este eroarea medie întîmplătoare ; c_i — conţinutul dat de analiza de control intern ; c_b — conţinutul dat de analiza de bază ; n — numărul analizelor de control.

Pentru stabilirea existenţei şi mărimii erorilor sistematice puse în evidenţă de controlul extern, se efectuează următoarele calcule :

Conţinutul mediu :

— pentru analiza de bază

$$\bar{c}_b = \frac{\sum_{k=1}^{n} c_{bk}}{n}$$

— pentru analiza de control extern

$$\bar{c}_e = \frac{\sum_{k=1}^{n} c_{ek}}{n}$$

unde: c_b este conținutul probei de bază; c_e — conținutul probei de control extern; n — numărul probelor controlate.

Coeficientul de corecție datorită erorii sistematice (f)

$$f = \frac{\bar{c}_e}{\bar{c}_b}$$

Dacă $0{,}95 < f < 1{,}05$ se admite că practic analizele de bază nu au fost afectate de o eroare sistematică.

Dacă f este în afara intervalului cuprins între 0,95 și 1,05, prelucrarea statistică este continuată cu următoarele calcule:

Stabilirea abaterii medii pătratice a conținuturilor medii (m_b = abaterea pentru analizele de bază; m_e = abaterea pentru analizele de control extern):

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2}{n(n-1)}}$$

$$m_e = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2}{n(n-1)}}$$

Stabilirea coeficientului de corelație dintre analizele de bază și cele de control extern (r):

$$r = \frac{\sum_{k=1}^{n} c_{bk} \cdot c_{ek} - n\bar{c}_b \cdot \bar{c}_e}{\sqrt{\left[\sum_{k=1}^{n} (c_{bk})^2 - n\bar{c}_2^b\right] \cdot \left[\sum_{k=1}^{n} (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2\right]}}$$

Stabilirea coeficientului de probabilitate al existenței erorii sistematice (t):

$$t = \frac{|\bar{c}_b - \bar{c}_e|}{\sqrt{m_b^2 + m_e^2 - 2rm_b m_e}}$$

Dacă $t \leqslant 2$ nu există eroare sistematică; dacă $t > 2$ există eroare sistematică.

Înlocuirea probelor excepționale. În cazul zăcămintelor cu o repartiție neuniformă a componenților utili, analizele probelor chimice pot pune în evidență unele probe cu conținuturi excepționale.

Se consideră că o probă este excepțională într-o unitate de calcul dacă împărțind cantitatea de rezerve Q din unitatea de calcul la numărul probelor n colectate, nu se poate accepta pe baza cunoașterii geologice obținute, că în acea unitate de calcul există Q/n rezerve cu conținuturile probei excepționale.

În cazul probelor excepționale se reface analiza. Dacă rezultatul reanalizării confirmă conținutul inițial, se reprobează locul de unde a fost colectată proba respectivă; dacă analiza indică un conținut normal, acesta se introduce în calculul conținuturilor.

Dacă analiza confirmă din nou conținutul inițial, se procedează astfel:

— în cazul unei unități de calcul cu mai mult de 50 de probe, se ia în calculul conținuturilor conținutul probei excepționale;

— în cazul unei unități de calcul cu mai puțin de 50 de probe conținutul probei excepționale se înlocuiește cu media conținuturilor probelor care o încadrează (5—10 probe de o parte și de alta) sau prin conținutul mediu calculat cu proba excepțională (pe lucrare sau pe panou) sau prin alte procedee, dîndu-se justificările necesare.

3.3. STABILIREA CONDIȚIILOR DE ZĂCĂMÎNT

Pentru stabilirea condițiilor de zăcămînt se efectuează studii, după cum urmează:

a) Studii *geologice* complexe, bazate pe cartarea tuturor lucrărilor executate precum și a deschiderilor naturale, coroborate cu măsurători geofizice, geochimice etc.

b) Studii *mineralogice și petrografice* bazate pe datele obținute din probarea mineralogică.

c) Studii cu privire la *gradul de tectonizare*, bazate pe cartări geologice și analize cu privire la microtectonica zăcămîntului.

d) Studii *hidrogeologice* bazate pe măsurători ale debitelor de apă în diferite condiții de regim, anotimp, adîncime etc.

e) Studii *tehnice* care se bazează pe datele obținute prin probarea tehnică. Aceasta are ca scop determinarea greutății volumetrice, a umidității, compactității, porozității, tăriei (durității), fisurației, stabilității rocilor în lucrările de exploatare, rezistenței de rupere la șoc, rezistenței la sfărîmare și coeficientului de afînare.

f) Studii *tehnologice* care se execută pentru obținerea unor parametri industriali privind tehnologia de exploatare și tehnologia de preparare-prelucrare.

Studiile tehnologice au la bază datele obținute din probarea tehnologică, care diferă în funcție de natura substanței, etapa de cercetare, scopul final propus în tema de cercetare.

Probarea tehnologică de exploatare se execută în scopul determinării posibilităților și condițiilor de exploatare a zăcămîntului precum și stabilirii unor parametri industriali (diluție, pierderi, consumuri specifice, productivitate) necesari întocmirii studiilor de condiții industriale și, dacă este cazul, a proiectului de punere în exploatare.

De regulă, probarea tehnologică de exploatare (uzual denumită abataje experimentale) se execută în etapa de explorare de detaliu sau după încheierea lucrărilor de explorare detaliată.

Probarea tehnologică pentru preparare are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs valorificabil și stabilirea într-o etapă avansată de cercetare a unor parametri necesari pentru elaborarea studiilor de condiții industriale sau pentru întocmirea proiectelor de punere în exploatare.

Probarea tehnologică de preparare se efectuează în toate etapele de cercetare geologică (prospecțiune, explorare și exploatare; tabelul XV. 4).

Tabelul XIV. 4

Probele tehnologice pe fazele de cercetare

Faza de încercare	Cantitate	Instalaţie	Se obţin date privind:	Etapa de cercetare în care se execută
Laborator	10—500 kg	Laborator	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociaţie de minerale şi concrescenţă). Metode de preparare. Flux tehnologic informativ. Parametri informativi privind extracţia în componenţi utili.	Prospecţiune şi explorare preliminară (rezerve categ. C_2 şi în unele cazuri categ. C_1)
Pilot	10—100 t	Instalaţie pilot 2—12 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociaţie de minerale şi concrescenţă). Flux tehnologic de preparare. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Extracţie în greutate. Extracţie în componenţi utili. Consum informativ reactivi.	Explorare preliminară şi de detaliu (rezerve categ. C_1 şi în unele cazuri categ. B)
Semiindustrial	500—1500 t	Instalaţie semiindustrială 20—40 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Flux tehnologic de preparare optim. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Calitatea concentratelor. Extracţie în greutate. Extracţie în componenţi utili. Consumuri specifice de energie, materiale şi reactivi.	Explorare de detaliu (rezerve categ. C_1, categ. B şi în unele cazuri categ. A)
Industrial	Peste 1500 t	Instalaţie în funcţiune de la 125 t/zi	Verificarea şi îmbunătăţirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracţie.	Explorare de detaliu şi exploatare (rezerve de categ. B şi categ. A)

4. METODE DE CALCUL AL REZERVELOR

În calcularea rezervelor pot fi aplicate metode de calcul clasice sau geometrice, utilizînd parametrii determinaţi prin metode obişnuite sau utilizînd parametrii obţinuţi prin calcule statistico-matematice şi geostatistice.

În cazul aplicării metodelor de calcul clasice obişnuite, stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul se face astfel:

Grosimea medie se stabileşte prin medie aritmetică simplă dacă repartiţia punctelor de măsurare în zăcămînt este destul de uniformă sau dacă nu există variaţii continui şi uniforme de grosime; în celelalte cazuri grosimea medie se stabileşte prin medie ponderată în raport cu lungimea de influenţă a locurilor în care s-au făcut măsurători. Lungimea de influenţă a locului de măsurare a grosimii este egală cu suma jumătăţilor dintre acestea şi locurile vecine în care s-au executat măsurătorile.

Conţinuturile medii se calculează, în cele mai multe cazuri, prin medie aritmetică simplă sau ponderată. Calculul conţinuturilor se face prin *medie aritmetică ponderată* în următoarele cazuri:

— în cazul probelor colectate pe secţiuni cu lungimi variate şi se ponderează în raport cu lungimile secţiunilor probelor;

— pentru un număr limitat de probe (10—15), dispuse într-un mod neuniform în cadrul unităţii de calcul sau a căror date de analiză prezintă variaţii mari, conţinuturile se calculează prin ponderare în raport cu zona de influienţă a probelor, apoi pe suprafeţe de calcul prin ponderare în raport cu lungimea lucrărilor (sau cu grosimea zăcămîntului) şi cu distanţa între lucrări şi pe unităţi de calcul prin ponderare în raport cu mărimea suprafeţelor;

— în cazul grosimilor variabile, sau dacă există o relaţie între grosime şi conţinut se ponderează în raport cu grosimea.

În celelalte cazuri, conţinuturile se calculează, în general, prin medie aritmetică simplă, cu excepţia calculului conţinuturilor pe categorii de rezerve, care se execută prin ponderare în raport cu rezervele panourilor.

Alegerea metodei de calcul al rezervelor se face în funcţie de următorii factori:

— metodica de explorare aplicată;

— forma şi înclinarea corpurilor de substanţă minerală utilă;

— dimensiunile corpurilor din care este alcătuit zăcămîntul;

— situarea în spaţiu a corpurilor de substanţă minerală utilă şi raporturile dintre acestea;

— metodele de exploatare aplicate sau cele preconizate în cazul zăcămintelor noi (eventual).

Cele mai utilizate metode clasice pentru calculul rezervelor sînt următoarele:

— *Metoda blocurilor geologice*, avînd ca unitate de calcul blocul delimitat pe criterii geologice, ţinînd seama şi de sistemul de explorare; este folosită în special în faza de explorare preliminară (în special la rezervele de categoria C_2), pentru zăcămintele cercetate cu lucrări miniere şi foraje executate separat sau împreună.

— *Metoda panourilor* (*blocurilor*) de exploatare, avînd ca unitate de calcul panoul sau blocul delimitat de lucrări amplasate pe o reţea stabilită în funcţie de tipul de zăcămînt şi metoda de exploatare preconizată; metoda este folosită în faza de explorare preliminară şi de detaliu (rezerve de categoria C_1, B şi A), pentru zăcămintele cercetate în mare măsură prin lucrări miniere pe direcţie şi înclinare, care delimitează panouri de exploatare.

— *Metoda secțiunilor*, în special varianta cu secțiuni orizontale, care este folosită în cazul zăcămintelor cu grosime medie și mare, în cazul zăcămintelor masive (stock-uri) coloane, sau lentile cu grosime mare, explorate la diverse nivele (orizonturi) prin lucrări miniere.

Varianta cu *secțiuni verticale* este folosită în cazul explorării prin foraje sau puțuri dispuse pe aliniamente combinate, eventual cu lucrări miniere orizontale.

— *Metoda poligoanelor*, numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe*, care se folosește în cazuri mai rare, în situația cînd lucrările de cercetare nu sînt dispuse sistematic.

— *Metoda triunghiurilor*.

4.1. METODA BLOCURILOR GEOLOGICE

Pentru calculul rezervelor, suprafața corpului de substanță minerală (în proiecție orizontală sau verticală) se împarte într-o serie de figuri reprezentînd bazele unor poliedre echivalente cu părțile corespunzătoare din zăcămînt (fig. XIV.1.).

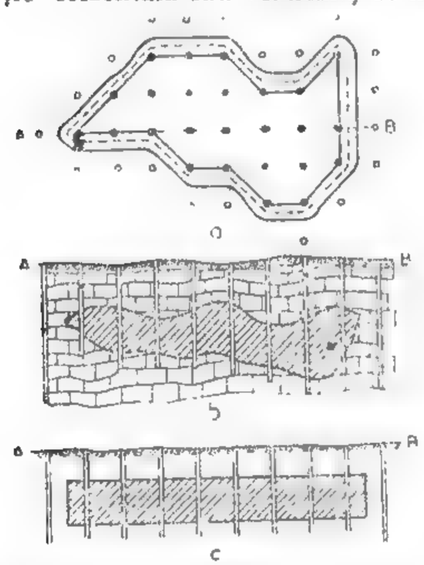


Fig. XIV.1. Schema transformării formei corpului de substanță minerală pentru calculul rezervelor prin metoda blocurilor geologice:

a — planul corpului de substanță minerală utilă conturat pe baza lucrărilor de explorare prin cele trei linii de contur (interior mediu și exterior); *b* — secțiune verticală, în corpul de substanță minerală utilă după direcția *AB*; *c* — schița corpului de substanță minerală utilă în secțiune verticală după direcția *AB*, după transformare (asimilare) într-u bloc cu înălțimea (grosimea) constantă

— · — · — · — contur interior; — — — contur mediu; ~ contur exterior; ● — lucrări (foraje sau puțuri) care au intersectat zăcămîntul; o — lucrări care nu au intersectat zăcămîntul.

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

— **Pentru un zăcămînt unde nu s-a stabilit existența unor relații între conținut, grosime și masă volumetrică,** valorile medii ale acestor parametri se calculează ca medie aritmetică simplă.

Cazul particular, cînd întreg zăcămîntul reprezintă un singur bloc (fig. XIV.1).

$$Q = V \cdot \bar{\gamma}_m$$

$$V = S \cdot \bar{g}_m$$

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\Sigma\gamma_i}{n} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \ldots + \gamma_n}{n}$$

$$\bar{g}_m = \frac{\Sigma g_i}{n} = \frac{g_1 + g_2 + \ldots + g_n}{n}$$

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma c_i}{n} = \frac{c_1 + c_2 + \ldots + c_n}{n}$$

unde: Q este cantitatea de rezervă, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața de calcul, m²; $\bar{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie, t/m³; γ_i — masa volumetrică a fiecărei măsurători ($i = 1, \ldots n$), t/m³; $\bar{g}_m$ — grosimea medie a blocului, m; g_i — grosimile măsurate în fiecare secțiune de probare, m; $\bar{c}_m$ — conținutul mediu în component util, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al probelor pe secțiuni de probare, % sau g/t; n — numărul punctelor de observație.

Determinarea masei volumetrice, a conținutului mediu pe un bloc sau pe întregul corp de substanță minerală se poate face folosind tabelul sinoptic XIV.5

Tabelul XIV.5

Stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul al rezervelor

Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g [m]	Masă volumetrică, γ [t/m³]	Conținut, c [%]
1	Foraj 1024	1,5	2,8	0,6
2	Foraj 1025	1,0	2,9	0,7
3	Foraj 1026	2,3	3,1	0,8
4	Foraj 1027	1,4	3,0	0,7
5	Puțul 1	0,8	2,7	0,
6	Puțul 2	0,7	2,7	0,4
.	.	.	.	.
20	Foraj 2030	1,0	2,8	0,6
Σ = 20	Total	Σ = 20,0	Σ = 60,0	Σ = 14,0
	Mediu	g_m = 1,0	γ_m = 3,0	c_m = 0,7

Cazul mai multor blocuri încadrate în aceeași categorie de rezerve (fig. XIV.2);

$$Q = \Sigma Q_i = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n$$

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma Q_i c_i}{\Sigma Q_i} = \frac{Q_1 c_1 + Q_2 c_2 + \ldots + Q_n c_n}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n}$$

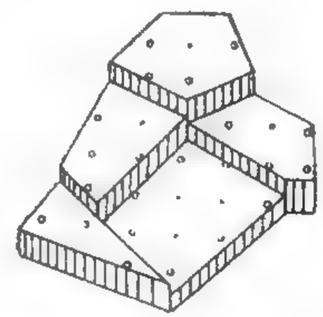


Fig. XIV.2. Transformarea corpului de substanță minerală utilă în figuri echivalente alăturate (blocuri) de diferite mărimi, în vederea calculului rezervelor prin metoda blocurilor geologice.

unde: Q este cantitatea totală de rezerve, t; Q_i — cantitatea de rezervă a fiecărui bloc ($i = 1, \ldots n$); $\bar{c}_m$ — conținutul mediu în component util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul mediu în component util sau dăunător al fiecărui bloc, % sau g/t; n — numărul blocurilor.

Determinarea conținutului mediu pe întregul zăcămînt se poate face folosind tabelul XIV.6.

Folosind același tabel se poate determina și grosimea medie a zăcămîntului și masa volumetrică medie dacă se solicită acest lucru de către beneficiar.

Tabelul XIV.6

Calculul conținutului mediu pe întregul zăcămînt

Nr. crt.	Denumirea blocului	Cantitate de rezerve, Q_i [t]	Conținut mediu, c_i [%]	Putere (cantitate de metal) $Q_i \cdot c_i$ [kg sau t]
1	Bloc 1	5 000	0,8	40
2	Bloc 2	7 000	0,7	49
3	Bloc 3	10 000	1,0	100
4	Bloc 4	8 000	0,9	72
5	Bloc 5	4 000	1,2	48
.	⋮	⋮	⋮	⋮
10	Bloc 10	15 000	1,0	150
$\Sigma = 10$	Total	100 000		900
	Media		0,90	

— **Pentru zăcămintele unde s-a stabilit existența unei relații directe sau inverse între conținutul în componenți utili și grosimea corpului de substanță minerală utilă,** calculul conținutului în componenți utili al acestuia se determină nu ca medie aritmetică, ci ca medie ponderată cu grosimea măsurată în locul colectării probelor din zăcămînt, folosindu-se formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma c_i g_i}{\Sigma g_i}$$

în care: $\bar{c}_m$ este conținutul mediu al componentului util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al fiecărei probe, % sau g/t; g_i — grosimile măsurate în fiecare probă (sau secțiune de probare), m.

Determinarea conținutului mediu al blocului prin ponderare după grosime se poate face folosind tabelul XIV. 7.

Metoda blocurilor geologice poate fi folosită — cu mici excepții — în toate cazurile, avînd grijă ca împărțirea pe blocuri să se facă pe baza unor criterii obiective, astfel încît însumarea blocurilor să nu influențeze asupra parametrilor care caracterizează calitatea medie a zăcămîntului.

Metoda blocurilor geologice dă rezultate bune în următoarele cazuri:

— cînd există un număr mare de date referitoare la zăcămînt;

— în cazul unei repartiții uniforme a lucrărilor de explorare în limitele unui bloc geologic;

— cînd conținuturile în componenți utili și grosimile corpului de substanță minerală utilă variază puțin.

Avantajul metodei constă în simplitatea efectuării materialelor grafice și a calculelor.

Dezavantajele metodei constau în mica precizie a calculelor în cazul zăcămintelor complicate și în cazul repartizării neuniforme a lucrărilor de cercetare și de probare.

Tabelul XIV.7

Calculul conținutului mediu prin ponderare după grosime

Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g_i [m]	Conținut, c_i [%]	Produs $g_i \cdot c_i$
1	Puț 1	1,3	0,7	0,91
2	Puț 2	1,5	0,6	0,90
3	Sonda 1005	0,4	0,8	0,32
4	Sonda 1006	0,8	1,0	0,80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	Puț 16	1,6	1,2	1,92
$n = 2$	Total	12,0		12,0
	Medie		1,0	

4.2. METODA PANOURILOR SAU BLOCURILOR DE EXPLOATARE

Pentru calculul rezervelor, zăcămîntul se împarte în panouri sau blocuri mărginite de lucrări miniere (galerii, suitori) sau pe baza unor delimitări care corespund viitoarelor limite ale panourilor de exploatare sau blocurilor (cazul extrapolării).

Această metodă este foarte mult folosită la calculul rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile de formă filoniană sau de strate cu grosime mică la care explorarea se face prin lucrări miniere (galerii direcționale și suitori). Corpul de substanță minerală utilă este împărțit prin lucrările miniere respective în porțiuni conturate pe 2—4 laturi (fig. XIV.3.).

Panourile sau blocurile de exploatare sînt, deci, niște paralelipipede ale căror înălțimi sînt egale cu grosimea medie a corpului de substanță minerală cuprins în limitele stabilite, iar baza este suprafața blocului.

Rezervele de substanță minerală utilă se calculează mai întîi pe fiecare panou separat, apoi prin însumarea rezervelor tuturor panourilor se determină rezerva totală.

Construcția grafică pentru calculul rezervelor constă în reprezentarea proiecției lucrărilor miniere de explorare sau de exploatare care delimitează corpul de substanță minerală utilă pe panouri, luîndu-se ca bază datele topografice. Atunci cînd corpul de substanță minerală utilă are un unghi de înclinare mai mare de 45°, proiecția se construiește de obicei în planul vertical sau în planul zăcămîntului.

Cînd unghiul de înclinare a corpului este mai mic de 45°, proiecția se construește în plan orizontal.

Pe planurile cu proiecțiile lucrărilor care delimitează panourile se marchează numărul probelor, punctele de colectare a acestora din corpul de substanță minerală utilă.

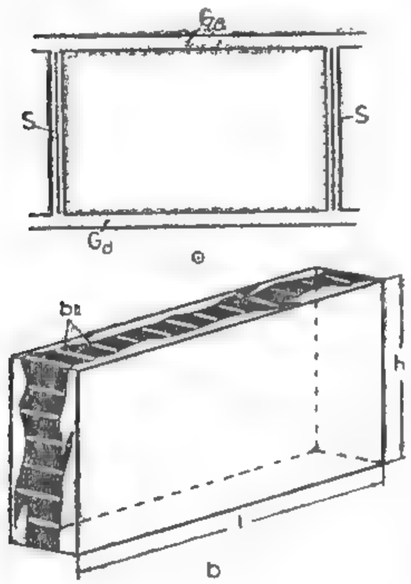


Fig. XIV.3. Schema unui bloc conturat pe patru laturi cu lucrări miniere:

a — proiecția blocului în planul filonului; *s* — suitoare; G_d — galerie direcțională; *b* — schema imaginii blocului; *l* — lungimea blocului; *h* — înălțimea blocului. *br* — brazde de probare.

Important este ca secțiunile de probare (din acoperiș la culcuș) de unde în mod obligatoriu se măsoară și grosimile să fie perpendiculare pe suprafața care se introduce în calcul (proiectată, de regulă, sau desfășurată), iar în cazul cînd secțiunile apar sub un unghi față de plan, să se calculeze corecțiile respective, pe bază de formule trigonometrice sau construcții grafice. În mod curent, acest deziderat se urmărește încă din faza de explorare, probele fiind luate în poziție orizontală, perpendicular pe direcția medie a zăcămîntului pentru corpurile cu înclinare mare (peste 45°) sau în poziție verticală pentru corpurile cu înclinare mică (sub 45°).

Calculul rezervelor se face individual, pe fiecare panou în parte, pe măsura executării lucrărilor și obținerii rezultatelor analizelor de laborator.

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

a) Cazul, cînd *grosimea corpului mineralizat este mică și nu depășește profilul lucrărilor miniere care delimitează panoul* (blocul) (2 galerii direcționale amplasate la două nivele și 2 suitori amplasate la distanța de 50—100 m).

— În situația unei distribuții uniforme a probelor pe lucrările de contur și cînd componenții utili au o repartiție uniformă, în ipoteza că nu există nici o relație între conținutul și grosimea corpului de substanță minerală utilă, se poate aplica în calcul media aritmetică, după cum urmează:

$$Q = V \cdot \overline{\gamma}_m; \quad V = S \cdot \overline{g}_m; \quad S = h \cdot l;$$

$$\overline{\gamma}_m = \frac{\Sigma \gamma_i}{n}; \quad \overline{g}_m = \frac{\Sigma g_i}{n}; \quad m = \frac{\Sigma c_i}{n};$$

unde: Q este cantitatea de rezerve, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața panoului în m², proiectată sau desfășurată; h — înălțimea panoului în m, măsurată pe verticală între două nivele (S proiectată) sau măsurată pe suitori (S desfășurată); l — lungimea panoului în m, măsurat între suitori pe plan (S proiectată) sau pe direcția galerici (S desfășurată); $\overline{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie a panoului, t/m³; γ_i — masa volumetrică (t/m³) determinată pe fiecare probă sau la a zecea sau douăzecea probă; $\overline{g}_m$ — grosimea medie a panoului, m; g_i — grosimea corpului de substanță minerală utilă după rezultatele probării; $\overline{c}_m$ — conținutul mediu al panoului în % sau g/t; c_i — conținutul fiecărei probe, % sau g/t; n — numărul de măsurări a grosimii, respectiv numărul probelor.

Pentru ca datele medii obținute pe fiecare lucrare să poată fi folosite în panourile învecinate (fig. XIV.4), este indicat ca efectuarea calculelor masei volumetrice, a grosimii și a conținutului să se facă astfel:

$$\overline{\gamma}_m = \frac{L_1\overline{\gamma}_1 + L_2\overline{\gamma}_2 + L_3\overline{\gamma}_3 + L_4\overline{\gamma}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\overline{g}_m = \frac{L_1\overline{g}_1 + L_2\overline{g}_2 + L_3\overline{g}_3 + L_4\overline{g}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\overline{c}_m = \frac{L_1\overline{c}_1 + L_2\overline{c}_2 + L_3\overline{c}_3 + L_4\overline{c}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$L_1 - L_4$ — reprezintă lungimea lucrărilor care delimitează panoul; $\overline{\gamma}_1 - \overline{\gamma}_4$ — masa volumetrică medie determinată pentru fiecare lucrare; $\overline{g}_1 - \overline{g}_4$ — grosimea medie determinată pentru fiecare lucrare; $\overline{c}_1 - \overline{c}_4$ — conținutul mediu pe fiecare lucrare.

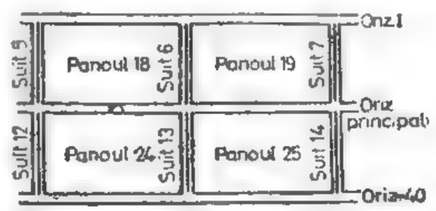


Fig. XIV.4. Schema dispunerii blocurilor învecinate.

Cînd panoul este delimitat de un număr mai mic de lucrări, se iau în considerare datele obținute numai din lucrările executate, folosind aceleași formule simplificate.

— În situația cînd distanța dintre probe nu este egală, masa volumetrică, grosimea medie și conținutul mediu se determină prin ponderare ținînd seama de lungimea de influență a fiecărei probe (l), după formulele:

$$\overline{\gamma}_m = \frac{\Sigma \gamma_i l_i}{\Sigma l_i}; \quad \overline{g}_m = \frac{\Sigma g_i l_i}{\Sigma l_i}; \quad \overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i l_i}{\Sigma l_i};$$

în care: l_i este lungimea de influență, care se măsoară pe planuri și de obicei reprezintă jumătatea distanței de o parte și de alta a unei probe față de probele învecinate.

— În situația cînd există relație între grosime și conținut, la calcularea conținuturilor medii se aplică formulele:

$$\overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i g_i}{\Sigma g_i},$$

dacă secțiunile de probare sînt echidistante și

$$\overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i g_i l_i}{\Sigma g_i l_i},$$

dacă secțiunile de probare sînt amplasate la diferite distanțe

Desfășurarea calculelor pe tabele — în situația cea mai simplă — se prezintă în tabelele XIV.8 și XIV.9.

Tabelul XIV.8

Parametrii de calcul al rezervelor pe secțiuni de probare

Nr. crt.	Denumirea probei (secț. de probare)	Masă volumetrică, γ [t/m³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%] sau [g/t]
1	Secț. 303	3,2	0,5	0,4
2	Secț. 304	3,0	1,0	0,3
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
100	Secț. 501	2,5	1,5	0,8
$n = 100$	Total	300	100	70
	Medie	3	1	0,7

Pentru ușurarea prezentării și verificării calculelor, tabelul XIV.9 poate fi împărțit în două, cantitatea de rezerve pe fiecare panou fiind înscrisă de două ori (coloană finală la primul tabel și cap de coloană la cel de al doilea).

Tabelul XIV.9

Parametrii de calcul al rezervelor pe panouri sau orizonturi

Nr. crt.	Panoul, orizontul	h [m]	l [m]	S [m²]	g_m [m]	V [m³]	γ [t/m³]	Q [t]	c_m [%]	Putere (metal) $Q \cdot c$
1										
.										
.										
.										
.										
25										
	Total									
	Medie									

Cînd calculele masei volumetrice, a grosimii medii și a conținutului mediu se fac pentru fiecare lucrare în parte, se introduce un tabel intermediar — tabelul XIV.10. Însumarea blocurilor se face după tabelul XIV.9 dat ca model.

Tabelul XIV.10

Parametrii de calcul al rezervelor după lucrarea de explorare

Lucrarea	Denumirea probei	Masă volumetrică, γ [t/m³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%]
1				
.				
.				
.				
.				
.				
50				
	Total			
	Medie			

Tabelul XIV.11

Parametrii de calcul al rezervelor pe lucrare de explorare și panou

Panou nr.	Lucrare		Masă volumetrică, γ		Grosime, g		Conținut, c	
	Poziție	[m]	[t/m³]	Putere	[m]	Putere	[%]	Putere
1	L_1							
2	L_2							
3	L_3							
4	L_4							
	Total							
	Medie							

În situația cînd calculul masei volumetrice, grosimii medii și conținutului mediu se face ținînd seama de lungimea de influență, se pot prezenta calculele în tabelul XIV.12.

Atunci cînd există relație între grosime și conținut, în tabele se introduc coloane ajutătoare care să permită efectuarea calculelor prin medie ponderată.

Tabelul XIV.12

Parametrii de calcul al rezervelor după lungimea de influenţă

Nr. crt.	Denumirea probei (secţiunii de probare)	Lungimea de influenţă, l [m]	Masă volumetrică		Grosime		Conţinut	
			γ [t/m³]	Putere $\gamma \cdot l$	g [m]	Putere $g \cdot l$	c [%]	Putere $c \cdot l$
1	Secţ. 303	10						
2	Secţ. 304	15						
.								
.								
.								
.								
.								
100	Secţ. 501	8						
	Total							
	Medie							

b) Cazul cînd *grosimea corpului de substanţă minerală utilă depăşeşte lăţimea galeriilor de explorare sau al zăcămintelor puternic tectonizate care nu pot fi urmărite continuu*, calculul rezervelor prin metoda panourilor de exploatare se realizează pe baza datelor obţinute din lucrările care traversează corpul de substanţă minerală utilă din acoperiş pînă în culcuş (transversale, suitori, foraje; fig. XIV.5).

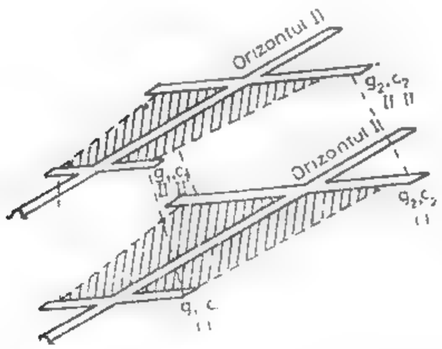


Fig. XIV.5. Schema conturării unui corp de substanţă minerală utilă al cărui grosime depăşeşte lăţimea galeriei de explorare, în cazul calculului rezervelor prin metoda blocurilor de exploatare.

Desfăşurarea calculelor pe tabele se face ca şi în primul caz, introducîndu-se tabele intermediare pentru calcularea masei volumetrice, a grosimii medii şi a conţinutului mediu pe fiecare lucrare în parte şi apoi pe laturi, însumînd fiecare lucrare în parte.

Extrapolarea datelor de la panourile cu lucrări efectuate şi calculul rezervelor se poate face prin două procedee şi anume:

— în *trepte* (fig. XIV.6, *a*) sau în *pînză* (fig. XIV.6, *b*).

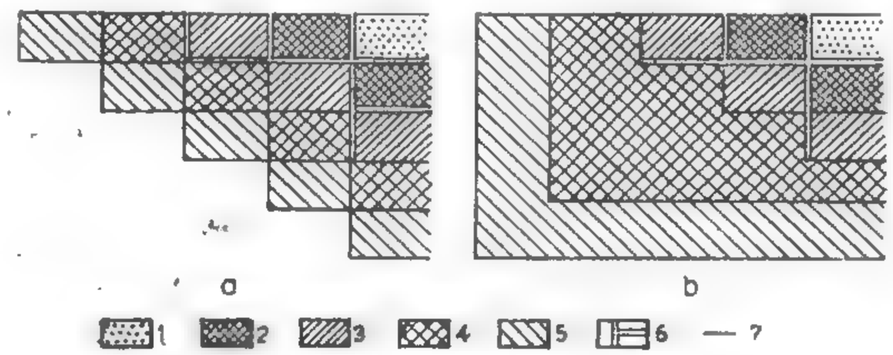


Fig. XIV.6. Schema de conturare a rezervelor extrapolate în adîncime:

a — în trepte; *b* — în pînză; *1* — porţiuni în exploatare; *2* — blocuri cu rezerve de categoria *A*; *3* — blocuri cu rezerve de categoria *B*; *4* — blocuri cu rezerve de categoria C_1; *5* — blocuri cu rezerve de categoria C_2; *6* — lucrări de explorare (galerii şi suitori); *7* — conturul blocurilor.

Pentru fiecare caz în parte se pleacă de la considerente de ordin geologic, dînd o deosebită atenţie variaţiilor de grosime şi conţinut stabilite în diferite direcţii ale zăcămîntului (pe înclinare şi pe direcţie).

Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare se aplică frecvent pentru calculul rezervelor corpurilor de substanţe minerale utile simple sau complexe, cînd acestea apar sub formă tabulară (filoane şi strate).

Avantajele calculului rezervelor prin metoda panourilor sau blocurilor de exploatare sînt următoarele:

— simplitatea construcţiilor grafice şi a tuturor operaţiilor de calcul;

— calculul rezervelor poate fi folosit direct la planificarea şi proiectarea lucrărilor de exploatare;

— permite separarea panourilor cu calităţi diferite ale substanţei minerale utile.

Dezavantajele metodei constau în următoarele:

— se poate aplica numai atunci cînd corpul de substanţă minerală utilă a fost împărţit, prin lucrări miniere, în panouri;

— se poate aplica avantajos numai la zăcămintele de formă tabulară.

4.3. METODA SECŢIUNILOR

Metoda secţiunilor se poate aplica în situaţia cînd lucrările de explorare sînt amplasate pe anumite aliniamente, pe cît posibil paralele, pe o reţea cît mai uniformă; este necesar, de asemenea, ca lucrările să străbată în întregime corpul de substanţă minerală utilă.

Se aplică atît la zăcămintele cercetate prin linii de explorare verticale, cît şi la cele cercetate prin linii de explorare orizontale (pe orizonturi). Liniile de explorare care secţionează corpul de substanţă utilă permit construcţia secţiunilor geologice necesare calculului de rezerve.

După modul în care se execută secţiunile prin zăcămînt, se disting două variante ale acestei metode:

— metoda *secţiunilor verticale*, care se aplică în situaţia cînd explorarea s-a făcut în mare parte prin foraje sau puţuri;

— metoda *secţiunilor orizontale* care se foloseşte atunci cînd explorarea s-a făcut în bună parte prin lucrări miniere şi foraje amplasate la diferite nivele (orizonturi de explorare).

Secţiunile geologice împart corpul de substanţă utilă în blocuri separate prin două plane de secţiune sau, în cazul blocurilor marginale, de un plan de secţiune şi de suprafaţa neregulată a zăcămîntului (fig. XIV.7).

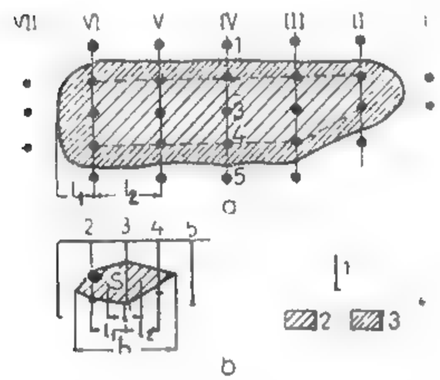


Fig. XIV.7. Schema dispunerii blocurilor de calcul în cazul rezervelor calculate prin metoda secţiunilor:

a — plan; *b* — secţiune pe linia IV; *1* — lucrări miniere de explorare; *2* — suprafaţa corpului de substanţă minerală utilă; *3* — suprafaţa zonei exterioare.

Ambele variante de calcul au aceleaşi principii de calcul al rezervelor.

Rezervele de substanţă şi de componenţi utili se determină pentru fiecare bloc separat.

Volumul blocului (V) se calculează ca produsul dintre suprafaţa unei secţiuni medii (S_{1-2}) şi distanţa (l_{1-2}), care se determină prin măsurarea distanţei dintre secţiuni.

Suprafaţa secţiunii este indicat să se măsoare prin planimetrare sau cu ajutorul paletei; dacă secţiunea prezintă o formă mai regulată, aceasta se calculează cu formule geometrice.

Calculul volumului blocului se face folosind următoarele formule:

a) În cazul cînd suprafeţele secţiunilor de substanţă utilă care mărginesc blocul sînt aproximativ egale:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} l_{1-2}$$

unde: V — reprezintă volumul blocului, m³; S_1 şi S_2 — suprafeţele care delimitează blocul, m²; l_{1-2} — lungimea (distanţa) dintre secţiuni, m.

b) În situaţia cînd suprafeţele care mărginesc blocul au o formă geometrică asemănătoare, iar ca mărime diferă una faţă de cealaltă cu peste 40%, se aplică formulele:

— trunchiul de con

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}}{3} \cdot l_{1-2}$$

— trunchiul de piramidă după procedeul grafic

$$V = k \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2}$$

în care notaţiile au aceeaşi semnificaţie ca mai sus, iar k este un coeficient de corecţie care se determină cu ajutorul formulei:

$$k = \frac{2}{3}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{S_1}{S_2} + \frac{S_2}{S_1}}}\right)$$

Valoarea k în funcţie de raportul $\frac{S_1}{S_2} = \alpha$ este dată în tabelul XIV.13.

Tabelul XIV 13.

Valoarea coeficientului de corecţie k

$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k	$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k
1,0	1,0	1,000	0,033	30,0	0,785
0,71	1,4	0,995	0,025	40,0	0,770
0,50	2,0	0,980	0,020	50,0	0,760
0,33	3,0	0,955	0,017	60,0	0,751
0,25	4,0	0,933	0,014	70,0	0,745
0,20	5,0	0,915	0,010	100,0	0,733
0,143	7,0	0,888	0,007	140,0	0,724
0,100	10,0	0,859	0,005	200,9	0,714
0,083	12,0	0,845	0,003	300,0	0,706
0,071	14,0	0,833	0,0025	400,0	0,700
0,062	16,0	0,824	0,0020	500,0	0,696
0,050	20,0	0,809	0,0014	700,0	0,692
0,040	25,0	0,795	0,0010	1000,0	0,689

c) În cazul cînd secţiunile nu sînt paralele, calculul volumului se face astfel:

— dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mic de 10° :

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

unde : V reprezintă volumul blocului dintre secțiuni, m³; S_1, S_2 — suprafețele secțiunilor, m²; H_1, H_2 — lungimile perpendicularelor coborîte din proiecțiile centrelor de greutate ale suprafețelor, pe linia de explorare opusă, m;

— dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mare de 10° se utilizează formula :

$$V = \frac{\varkappa}{\sin \alpha} \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

în care α este unghiul dintre secțiunile alăturate, măsurat în radiani.

La blocurile marginale care au numai o singură secțiune, volumul se determină în funcție de gradul de efilare a mineralizației (substanței utile), cu una din următoarele formule :

— formula trapezului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{2}$$

— formula conului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{3}$$

în care : V reprezintă volumul blocului, m³ ; S_1 — suprafața secțiunii marginale ; l_1 — distanța dintre suprafața secțiunii și planul de efilare a corpului de substanță minerală utilă.

Calculul conținutului mediu pe secțiuni se poate face prin trei procedee, în funcție de caracterul repartiției componenților utili :

— *procedeul mediei aritmetice*, folosit în cazul cînd nu există dependență între conținut și grosimea corpului de substanță utilă ;

— *procedeul mediei ponderate cu grosimea*, utilizat atunci cînd există dependență între grosime și conținut și cînd lucrările de explorare sînt uniform repartizate ;

— *procedeul mediei ponderate cu grosimea și cu lungimea de influență a lucrărilor* de explorare, folosit în cazul cînd există dependență între grosime și conținut și cînd lucrările de explorare sînt repartizate neuniform.

Rezervele totale pe zăcămînt se calculează prin însumarea rezervelor pe fiecare bloc în parte. Calculul conținutului mediu se face prin medie ponderată, ținînd seama de cantitatea de rezerve care revine fiecărui bloc.

Determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe fiecare lucrare de explorare, după procedeul mediei aritmetice sau după procedeul mediei ponderate se face conform tabelelor XIV.14 și XIV.15, iar pe secțiuni conform tabelelor XIV.16 și XIV.17.

Conținutul mediu pe bloc se calculează prin ponderare cu ariile secțiunilor.

Tabelul XIV.14

Conținuturile și grosimile medii pe lucrări de explorare calculate prin media aritmetică

Numărul probei	Grosimea g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]
	Puțul de explorare nr. 12	
854	0,5	44,8
855	0,5	45,2
856	0,6	42,3
Pe lucrare minieră	1,6	44,1
	Forajul nr. 81	
1251	0,3	46,8
1252	0,5	41,2
1253	0,5	40,6
1254	0,5	43,1
Pe foraj	1,8	42,9

Tabelul XIV.15

Determinarea conținuturilor și grosimilor pe lucrări de explorare pe baza procedeului mediei ponderate

Numărul probei	Grosimea, g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]	Produsul dintre conținut și grosime ($g \cdot c$)	Conținutul mediu în componenți utili [%] $\frac{\Sigma g \cdot c}{\Sigma g}$
		Puțul de explorare nr. 25		
341	0,20	12,4	2,48	
342	0,50	8,5	4,25	
343	0,50	5,9	2,95	
344	0,40	9,1	3,64	
Pe lucrare minieră	1,60	—	13,32	8,3
		Forajul nr. 41		
531	0,50	4,9	2,45	
532	0,30	18,2	5,46	
533	1,10	7,9	8,69	
Pe foraj	1,90	—	16,60	8,7

Tabelul XIV.16

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedeului mediei aritmetice

Nr. crt.	Lucrări	Grosime, g [m]	Conținut în componenți utili, c [g/t sau %]
		Secțiunea V-V	
1	Puțul nr. 4	0,90	15
25	Puțul nr. 5	0,20	54
...	...	...	...
20	Forajul nr. 49	0,75	36
Total	—	12,40	948

Numărul lucrărilor miniere (n) = 20; Grosimea medie pe secțiune (g) = 12,40/20 = = 0,62 m; Conținutul mediu pe secțiune (c) = 948/20 = 47,4 g/t.

Tabelul XIV.17

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedeului mediei ponderate

Nr. crt.	Lucrări	Grosimea, g [m]	Conținutul mediu în comp. utili pe lucrare, c [g/t]	Lungimea de influență a lucrării, l [m]	Produsul $g \cdot l$	Produsul $g \cdot l \cdot c$	Conținutul mediu pe secțiune $\frac{\Sigma glc}{\Sigma gl}$ [g/t]	Grosimea medie pe secțiune $\frac{\Sigma g.l}{\Sigma l}$ [m]
				Secțiunea V-V				
1	Puțul nr. 4	0,90	15	20	18	270		
2	Puțul nr. 5	0,20	54	24	4,8	259,2		
...	...	...	...	...	...	...		
16	Forajul nr. 49	0,75	36	15	11,25	405,0		
Total pe secțiune		—	—	256	221,8	9924,4	44,7	0,87

4.4. METODA POLIGOANELOR

Metoda poligoanelor este numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe* (A. K. Boldîrev). Ea se bazează pe principiul extinderii caracteristicilor zăcămîntului (grosimea corpului de substanță utilă, conținutul în metale etc.) cunoscute într-o lucrare de explorare (foraj vertical sau puț) asupra zonei de influență vecină.

Construcția suprafețelor apropiate se face în modul următor: fiecare lucrare de explorare se unește, pe planul pentru calculul rezervelor, prin linii drepte punctate, cu toate lucrările apropiate. Pe mijlocul segmentelor obținute se ridică perpendiculare (pentru ușurință se folosește un șablon special), care se întretaie și care formează în jurul fiecărei lucrări un poligon, ale cărui puncte se găsesc toate mai aproape de lucrarea amplasată în centrul lui decît de orice altă lucrare (fig. XIV. 8).

Trasarea poligoanelor se face, în general, în direcția mersului acelor ceasornicului, de la periferie spre centrul planului.

Împărțind în poligoane întreaga suprafață pentru care se calculează rezervele de substanță minerală utilă, zăcămîntul se înlocuiește cu prisme poliedrice drepte, care au la bază poligoane. Fiecare din aceste prisme are înălțimea egală cu grosimea zăcămîntului, măsurată în lucrarea din centrul poligonului. Fețele acestor prisme sînt plane verticale care trec prin laturile poligoanelor.

Astfel, calculul rezervelor prin această metodă înlocuiește forma reală a zăcămîntului cu o figură geometrică, formată în plan din poligoane, iar în spațiu din poliedre (fig. XIV. 9).

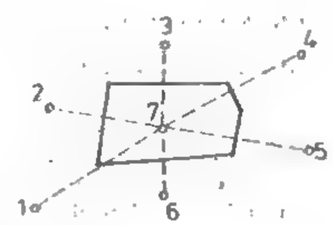


Fig. XIV.8. Trasarea suprafețelor blocurilor prin metoda punctelor celor mai apropiate.

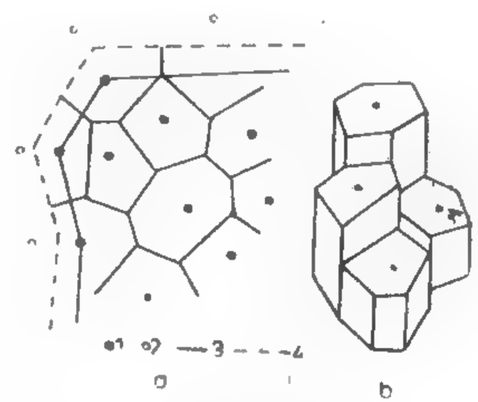


Fig. XIV.9. Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor.

a — fragment din planul de calcul; *b* — un fragment din corpul de substanță minerală utilă transformat în prisme poligonale (perspectivă); *1* — sonde care au traversat corpul de substanță utilă; *2* — sonde care nu au interceptat substanța utilă; *3* — conturul interior; *4* — conturul exterior.

Rezervele se calculează pentru fiecare prismă în parte, după care se însumează rezervele tuturor prismelor, rezultînd rezerva totală a zăcămîntului.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează :

$$Q_1 = V_1 \cdot \gamma_1; \quad V_1 = S_1 \cdot g_1; \quad M_1 = \frac{Q \cdot c_1}{100};$$

unde : Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t ; V_1 — volumul prismei, m³ ; γ_1 — masa volumetrică, t/m³ ; S_1 — suprafața poligonului în centrul căruia se află lucrarea, m² ; g_1 — grosimea zăcămîntului măsurată în lucrarea respectivă, m ; M_1 metalul conținut în limitele prismei, t ; c_1 — conținutul zăcămîntului determinat în lucrarea respectivă, %.

Pentru însumarea rezervelor pe întregul zăcămînt se poate folosi tabelul XIV. 18.

Tabelul XIV.18

Parametrii de calcul al rezervelor prin metoda poligoanelor

Numărul poligonului	Suprafața, S [m²]	Grosimea, g [m]	Volumul, V [m³]	Masa volumetrică, γ [t/m³]	Rezervele de minereu [t]	Conținut mediu, c [%]	Rezerve de metal [t]
1	350	10	3 500	3,5	12 250	1,2	148,0
2	700	10	7 000	3,5	25 000	1,8	450,0
...	...	...	...	...	...	...	...
15	200	5	1 000	3,0	3 000	2,0	60,0
Total	6 500	8	52 000	3,0	156 000	2,0	3120,0

Metoda poligoanelor se utilizează la calculul rezervelor zăcămintelor orizontale sau slab înclinate, explorate prin foraje sau prin puțuri, cu grosimi și conținuturi puțin variabile.

Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor este avantajos prin simplitatea operațiilor de calcul și rapiditatea obținerii rezultatelor.

Metoda prezintă și o serie de neajunsuri dintre care se menționează :

— construirea prismelor poligonale denaturează forma reală a corpului de substanță minerală utilă ;

— prismele poligonale nu pot reprezenta sectoare de exploatare ; calculul rezervelor nu poate fi folosit la planificarea și proiectarea producției.

4.5. METODA TRIUNGHIURILOR

În această metodă toate lucrările se proiectează pe planul de calcul al rezervelor și fiecare lucrare se unește, prin linii drepte, cu lucrările vecine, în așa fel încît se obține o rețea de triunghiuri pe întreaga suprafață a zăcămntului (fig. XIV. 10).

Înălțimea muchiilor acestor prisme corespunde cu grosimea zăcămîntului, măsurată în lucrările respective.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează :

$$Q_1 = V_1 \cdot \bar{\gamma}_1; \quad V_1 = S_1 \cdot \bar{g}_1; \quad S_1 = \frac{a_1 \cdot l_1}{2};$$

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{1}{3}(\gamma' + \gamma'' + \gamma'''); \quad \bar{g}_1 = \frac{1}{3}(g_1' + g_1'' + g_1''');$$

unde : Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t ; V — volumul prismei, m³ ; S_1 — suprafața bazei prismei, m² ; $\bar{\gamma}_1$ — masa volumetrică medie a celor trei lucrări, t/m³ ; $\bar{g}_1$ — grosimea medie a celor trei lucrări, m ; a_1 — latura de bază a triunghiului, m ; l_1 — înălțimea triunghiului de bază, m ;

$$M_1 = \frac{Q_1 \cdot \bar{c}_1}{100}; \quad \bar{c}_1 = \frac{1}{3}(c_1' + c_1'' + c_1''');$$

unde: M_1 este metalul conținut în limitele prismei, t ;
$\bar{c}_1$ — conținutul mediu al celor trei lucrări, g/t sau %.

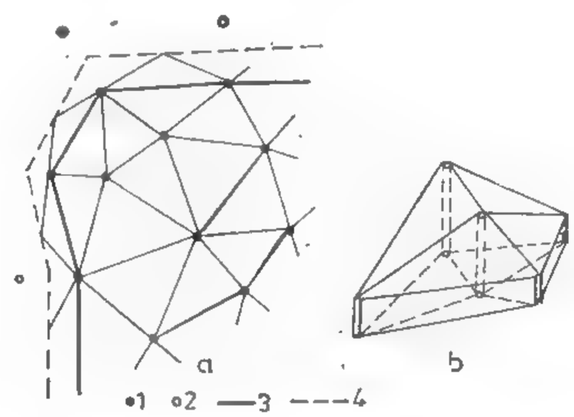


Fig. XIV.10. Calculul rezervelor după metoda triunghiurilor.

a — fragment din planul de calcul ; *b* — un fragment din corpul de substanță minerală utilă văzut în perspectivă ; *1* — sonde care au străbătut substanța minerală utilă ; *2* — sonde care nu au interceptat corpul de substanță minerală utilă ; *3* — conturul interior ; *4* — conturul exterior.

5. METODE STATISTICE-MATEMATICE ŞI GEOSTATISTICE ÎN ESTIMAREA PARAMETRILOR DE CALCUL AL REZERVELOR

Calitatea unei metode de estimare a rezervelor este determinată în primul rînd de capacitatea ei de a ţine seama de cît mai multe caracteristici geologice ale zăcămintelor. Metodele clasice au la bază ideia că în fiecare zăcămînt caracteristicile calitative şi grosimea variază liniar. Evident, această ipoteză este valabilă extrem de rar, dar admiterea ei a condus la nişte metode de calcul foarte simple, potrivite modului de lucru dinaintea utilizării calculatoarelor electronice. Pe lîngă ipoteza simplistă a variaţiei liniare, metodele clasice de estimare a rezervelor au devenit depăşite şi prin incapacitatea lor de a stabili gradul de precizie a rezervelor estimate.

Un prim pas în depăşirea neajunsurilor metodelor clasice s-a făcut în perioada 1940—1950, prin utilizarea statisticii matematice, iar saltul mai important s-a produs în ultimele 3 decenii, prin utilizarea metodei geostatistice.

5.1. METODE STATISTICE-MATEMATICE

Metodele statistice-matematice consideră grosimea corpurilor de substanţe minerale utile şi caracteristicile calitative ale acestora ca variabile aleatoare. Principalele proprietăţi naturale ale zăcămintelor pe care le pune în evidenţă statistica matematică sînt: legea de distribuţie statistică a caracteristicilor măsurate în diferite puncte, dispersia (gradul de variabilitate) acestora şi dependenţa statistică (legătura corelativă) dintre diferitele caracteristici. Se vor prezenta unele din aplicaţiile metodelor statistice-matematice care ţin seama de caracteristicile menţionate.

5.1.1 STABILIREA VALORII MEDII A PARAMETRILOR DE CALCUL ŢINÎND SEAMA DE LEGEA DE DISTRIBUIŢIE STATISTICĂ A ACESTORA

Fie X o caracteristică oarecare a unui zăcămînt (ex. grosime, caracteristică calitativă) ale cărei valori x_i se cunosc pe baza măsurătorilor sau a determinărilor pe probe. Dacă dintr-un zăcămînt s-ar recolta probe pînă la epuizarea rezervelor acestuia, valoarea medie x_0 calculată ar coincide cu cea reală. Mulţimea acestor probe constituie o colectivitate statistică. Din lucrările geologice se extrage un număr limitat de probe constituind o selecţie, al cărei volum este neglijabil în raport cu colectivitatea statistică. Ca urmare, media valorilor determinate experimental, numită *medie de selecţie*, nu coincide cu media colectivităţii statistice, deci nici cu media reală. În scopul reducerii diferenţei dintre media de selecţie (singura care poate fi calculată efectiv) şi cea reală este indicat ca din distribuţia empirică (distribuţia datelor experimentale) să se deducă legea de distribuţie statistică a colectivităţii, apoi să se calculeze media corespunzătoare acestei legi.

Fie distribuţia empirică a variabilei X cea prezentată în tabelul următor:

Media clasei	x_1	$x_2 \dots x_n$
Frecvenţa relativă pe clase	f_1	$f_2 \dots f_n$

Media de selecţie $\bar{x}$ este dată de relaţia:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} f_i x_i$$

Pentru distribuţia normală care este simetrică, media de selecţie estimează absolut corect media colectivităţii generale. Numeroasele cercetări efectuate au arătat că, în majoritatea covîrşitoare a cazurilor, distribuţia caracteristicilor calitative ale zăcămintelor prezintă o asimetrie pozitivă (dreaptă), adică probele cu conţinut mai mic decît media sînt mai frecvente, ca în fig. XIV. 11.

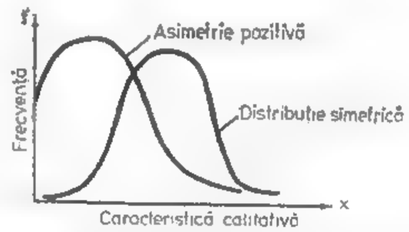


Fig. XVI. 11. Distribuţia simetrică şi asimetrică pozitivă.

Într-o distribuţie asimetrică pozitivă, media de selecţie supraestimează media colectivităţii generale ($\bar{x} > x_0$). Pentru diminuarea acestei surse de erori sistematice în plus, din datele experimentale se deduce legea de distribuţie statistică a caracteristicii X, exprimată prin funcţia de frecvenţă $f(x)$, cu ajutorul căreia se calculează media acestei colectivităţi, după formula:

$$x_0 = \int_{x_{minim}}^{x_{maxim}} x f(x)\, dx$$

În principiu, pentru stabilirea funcţiei de frecvenţă se face o schimbare de variabilă $y = g(x)$, astfel ca variabila y să se supună unei legi de disrtribuţie cunoscute. Dacă $F(y)$ este funcţia de frecvenţă a variabilei y, atunci media x_0 este dată de relaţia:

$$x_0 = \int_{x_{minim}}^{x_{maxim}} x F[g(x)] \frac{dg(x)}{dx}\, dx$$

Schimbarea de variabilă $y = (\log 100\, x)^{\alpha}$ conduce la o distribuţie normală a variabilei y prin alegerea convenabilă a exponentului α, ceea ce justifică denumirea de *distribuţie-log-normală generalizată* a variabilei x. La noi în ţară există programe care asigură automatizarea completă a calculelor (schimbarea de variabilă, alegerea exponentului α, testarea normalităţii distribuţiei variabilei y şi calculul mediei x_0). Experimentările făcute au arătat că în minereurile de metale neferoase media aritmetică supraestimează conţinutul cu 5—10%.

5.1.2. UTILIZAREA ANALIZEI DE CORELAŢIE ÎN ESTIMAREA CONŢINUTULUI REZERVELOR

Adesea, între diferitele caracteristici ale zăcămintelor există o dependenţă statistică, numită *legătură de corelaţie*. Intensitatea legăturii de corelaţie se măsoară cu ajutorul coeficientului de corelaţie menţionat la prelucrarea rezultatelor analizelor de control extern. Coeficientul de corelaţie r_{xy} dintre caracteristicile x şi y variază între -1 şi $+1$. Dacă $r_{xy} < 0$ corelaţia este inversă (cînd x creşte y scade), iar dacă $r_{xy} > 0$ corelaţia este directă (y creşte odată cu x). Se admite că legătura de corelaţie este suficent de puternică între x şi y pentru a permite să se exprime y în funcţie de x dacă $|r_{xy}| \geqslant 0{,}5$. În cele ce urmează se dau cîteva exemple de legături de corelaţie.

— Între rezultatele analizelor de bază şi de control extern (şi intern) există o corelaţie directă puternică.

— La cărbuni, există o corelaţie inversă între conţinutul în cenuşă şi puterea calorifică şi directă între conţinutul în cenuşă şi greutatea volumetrică.

— În minereurile de metale neferoase, unele elemente disperse apar ca substituenţi izomorfi în reţeaua cristalină a mineralelor elementelor de bază, ca de exemplu cadmiul în blendă, indiul în galenă şi blendă, seleniul în pirită şi calcopirită. În asemenea cazuri, conţinutul în elemente disperse este în corelaţie directă cu metalul de bază respectiv (ex. cadmiul cu zincul).

— O legătură de corelaţie aparte o constituie corelaţia spaţială. De exemplu, în zăcămintele de minereuri neferoase din eruptivul neogen Baia Mare apare o zonalitate pe verticală : minereu bogat în aur → minereu polimetalic → minereu de cupru. În asemenea cazuri, de exemplu, între conţinutul de aur la un nivel şi cota absolută există o corelare directă (conţinutul în aur scade cu adîncimea).

Existenţa unei legături de corelaţie permite stabilirea expresiei matematice a dependenţei statistice $y = f(x_1, \ldots, x_m)$, numită *ecuaţie de regresie*. Cu ajutorul ecuaţiei de regresie se poate stabili valoarea medie y. De exemplu, pentru calculul conţinutului mediu în cadmiu se poate proceda astfel :

— pe baza analizării tuturor probelor pentru elementele utile principale se calculează conţinuturile medii în Zn şi Pb % pe fiecare panou ;

— analizînd 30—50 probe reprezentative pe întregul zăcămînt atît pentru Zn, Pb cît şi pentru cadmiu, se stabileşte ecuaţia de regresie $Cd = f(Zn, Pb)$;

— înlocuind în ecuaţia de regresie conţinuturile medii în Zn şi Pb se obţine conţinutul mediu în Cd pe fiecare panou, chiar şi pentru cele din care nu s-a analizat nici o probă pentru acest element.

Pentru ecuaţia de regresie se ia o funcţie de forma :

$$y = a_0 + a_1 f_1(x_1, x_2, \ldots, x_m) + \ldots + a_p f_p(x_1, x_2, \ldots, x_m)$$

unde $f_i(x_1, x_2, \ldots, x_m)$ sînt funcţii liniar independente şi ele se aleg pe baza cunoaşterii legităţii de variaţie a lui y în funcţie de $x_1, x_2, \ldots, x_m$. De exemplu, dacă se urmăreşte

stabilirea ecuaţiei de regresie care exprimă puterea calorifică inferioară (Q) în funcţie de conţinutul în cenuşă la anhidru (A) al unui zăcămînt de cărbune, se va lua o ecuaţie de regresie de forma $Q = a_0 + a_1 f(A)$, unde pentru $f(A)$ se va lua o funcţie care să exprime faptul că Q descreşte cînd A creşte ; ex. $Q = a_0 + a_1 e^{-A}$ (rezultînd $a_1 > 0$) sau $Q = a_0 + a_1 \ln A$, ori $Q = a_0 + a_1 A$ (rezultînd $a_1 < 0$).

Coeficienţii $a_0, a_1, \ldots, a_p$ din ecuaţia de regresie se determină prin metoda celor mai mici pătrate, care conduce la sistemul :

$$\begin{Vmatrix} n & f_{1i} & f_{2i} & \ldots\ldots & f_{pi} \\ f_{1i} & f_{1i}^2 & f_{1i}f_{2i} & \ldots\ldots & f_{1i}f_{pi} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{pi} & f_{pi}f_{1i} & f_{pi}f_{2i} & \ldots\ldots & f^2_{pi} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ a_p \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} y_i \\ y_i f_{1i} \\ \cdot \\ y_i f_{pi} \end{Vmatrix}$$

unde cu $f_{ji}(j=1,2\ldots p)$ s-a notat simbolic expresia $\sum_{i=1}^{n} f_j(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{mi})$, iar x_{ki} şi y_i reprezintă valorile caracteristicilor x_k şi y_i pe proba i. Numărul total de probe este n.

Utilizarea analizei de corelaţie conduce la realizarea unor economii importante în cercetarea geologică, prin reducerea substanţială a numărului de determinări pentru caracteristicile care depind statistic de altele.

5.2. METODA GEOSTATISTICĂ

Geostatistica constituie aplicarea la fenomenele geologice a teoriei variabilelor regionalizate, elaborată de George Metheron. Orice caracteristică a zăcămintelor de substanţe minerale utile care se exprimă numeric este o variabilă regionalizată (ex. : grosimea unui strat, filon sau unei lentile, caracteristicile calitative etc.).

Variabilelor regionalizate li se asociază două noţiuni de *localizare* : *cîmpul sau domeniul geometric* şi *suportul geometric*. Prin cîmp sau domeniu geometric se înţelege partea dintr-un zăcămînt în care se studiază o variabilă regionalizată. De exemplu, dacă un zăcămînt este format din 30 de filoane şi se studiază conţinutul în plumb pe un singur filon, domeniul geometric al variabilei regionalizate (conţinut în plumb) este filonul respectiv. Suportul geometric al unei variabile regionalizate este elementul spaţial pe care sînt definite valorile sale. De exemplu, în cazul unui zăcămînt cuprifer de tip porfiric, cercetat cu lucrări miniere din care s-au recoltat probe brazdă de cîte 1 m lungime, suportul geometric al conţinutului în cupru pe probe este brazda de o formă, mărime şi orientare dată. Schimbînd domeniul geometric şi/sau suportul geometric se obţine o nouă variabilă regionalizată care prezintă anumite analogii cu prima, dar nu coincide cu ea. De exemplu, dispersia unei variabile regionalizate creşte atunci cînd domeniul geometric se măreşte sau suportul geometric se micşorează. Unele variabile regionalizate sînt de *suport punctual* ca de exemplu grosimea unui strat sau a unui filon, cota culcuşului unui strat de cărbune etc. Ţinînd seama că volumul unei probe geologice este neglijabil în raport cu volumul rezervelor unui zăcămînt, adesea se admite practic că şi conţinutul probelor este de suport punctual.

5.2.1. FUNCȚIILE SEMIVARIOGRAMĂ ȘI COVARIOGRAMĂ

Ideia centrală a geostatisticii este corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, adică faptul că, în medie, între valorile unei variabile regionalizate, măsurate în două puncte, există o similitudine cu atît mai mare sau o deosebire cu atît mai mică, cu cît cele două puncte sînt mai apropiate. Pentru exprimarea numerică a intensității acestei similitudini, respectiv deosebiri, G. Matheron a definit funcția covariogramă, respectiv semivariogramă. Fie M un punct din domeniul geometric al unei variabile regionalizate și $f(M)$ valoarea ei în acest punct. Notăm simbolic cu $M + h$ extremitatea vectorului h cu originea în M și cu m valoarea medie a variabilei regionalizate în domeniul său geometric, de volum V.

Covariograma este definită de relația :

$$G(h) = \frac{1}{V} \int_{(V)} [f(M + h) - m] \cdot [f(M) - m] \, dV$$

iar semivariograma prin relația :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \int_{(V)} [f(M + h) - f(M)]^2 \, dV$$

Se observă ușor că $G(0)$ coincide cu dispersia variabilei regionalizate și că între covariogramă și semivariogramă există relația :

$$G(h) = G(0) - \gamma(h)$$

Dublul semivariogramei, $2\gamma(h)$, se numește *variogramă* și ea reprezintă varianța erorii care se comite cînd valoarea $f(M)$ a variabilei regionalizate se atribuie și punctului $M + h$, situat la distanța h de M.

O variabilă regionalizată este *staționară* dacă semivariograma depinde numai de mărimea și direcția vectorului h și *nestaționară* dacă semivariograma depinde și de poziția vectorului în spațiu, adică și de originea sa. În cazul nestaționar apar și schimbări sistematice ale variabilei regionalizate în spațiu, numite *tendință*; de exemplu creșterea conținutului cu adîncimea, scăderea conținutului de la centru spre periferia unui zăcămînt.

5.2.2. VARIABILE REGIONALIZATE STAȚIONARE. PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE MINERALIZAȚIEI PUSE ÎN EVIDENȚĂ DE SEMIVARIOGRAMĂ

Semivariograma pune în evidență principalele caracteristici ale zăcămintelor, care influențează rețeaua lucrărilor geologice și gradul de precizie al rezervelor estimate. Printre aceste caracteristici menționăm : continuitatea, gradul de variabilitate, raza de influență și anizotropia.

Continuitatea mineralizației este dată de comportarea semivariogramei în jurul originii (h foarte mic). Sub aspectul continuității se disting trei tipuri de variabile regionalizate : *continuu, liniar* și *discontinuu* (efect de pepită), reprezentate în fig. XIV.12.

Primul caz este caracterizat printr-o curbă tangentă în origine la axa oh și reprezintă un înalt grad de continuitate. Acesta ar fi cazul grosimii unor strate de cărbuni.

Tipul liniar, cu tangenta în origine oblică, denotă o mineralizație cu o continuitate în medie. Acest caz se poate întîlni la conținutul în metale feroase și neferoase.

Tipul al treilea reprezintă o discontinuitate accentuată, cu apariția efectului de pepită, și este frecvent la zăcămintele aurifere cu iviri de aur vizibil. De menționat că efectul de pepită nu exprimă doar variațiile locale mari, ci și erorile comise la recoltarea, prelucrarea și analizarea probelor geologice. Așa se explică faptul că efectul de pepită apare și în zăcămintele de minereu polimetalic.

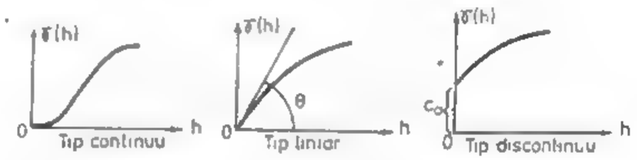


Fig. XIV.12. Tipuri de semivariograme sub aspectul continuității.

Gradul de variabilitate a mineralizației este dat de înălțimea curbei față de axa orizontală, adică de dispersia caracteristicii studiate (σ^2).

Exprimînd cantitativ corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, semivariograma dă un sens concret noțiunii de *rază de influență* a unei probe sau a unei lucrări, permițînd determinarea ei efectivă în metri. Recoltînd probe sau executînd lucrări cu distanța h între ele, este foarte natural să ne așteptăm ca în urma repetării procesului, cele două probe sau lucrări să indice, în medie, valori cu atît mai apropiate ale unei caracteristici, cu cît h este mai mic. Pe măsură ce această distanță crește, corelația devine tot mai slabă, iar peste o anumită limită valorile din cele două puncte devin statistic independente. Distanța maximă a pînă la care valorile unei caracteristici sînt corelate și peste care ele devin statistic independente se numește *rază de influență*. Raza de influență este principala proprietate a unui zăcămînt care influențează distanța necesară între lucrările geologice, ea crescînd proporțional cu raza de influență.

Semivariograma scoate în evidență și *anizotropia* mineralizației. În unele zăcăminte, variația mineralizației este aceeași în toate direcțiile. În aceste cazuri spunem că variabila regionalizată studiată și semivariograma ei sînt *izotrope*. Adesea apar variații deosebite ale mineralizației în diferite direcții. În asemenea situații, mineralizația este *anizotropă*. Anizotropia zăcămintelor impune distanțe deosebite dintre lucrările de cercetare geologică în diferite direcții.

Caracteristicile principale ale mineralizației unui zăcămînt, puse în evidență de semivariogramă, au o influență determinantă asupra desimii necesare a lucrărilor de cercetare geologică și a gradului de precizie al rezervelor estimate. Pentru a ilustra influența fiecăreia, se vor compara succesiv cîte două zăcăminte în care o caracteristică se schimbă, iar celelalte trei rămîn neschimbate. În prezentarea acestor influențe se are în vedere faptul că semivariograma măsoară discordanța dintre valorile unei caracteristici în două puncte situate la distanța h unul de altul, că aceasta este varianța unei erori de estimare. În fig.

fig. XIV.13 se reprezintă semnificaţia unora din caracteristicile puse în evidenţă de semivariogramă şi de covariogramă, referirile făcîndu-se la un model cu plafon.

Fie două zăcăminte cu acelaşi grad de variabilitate a mineralizaţiei (plafonul comun), raze de influenţă egale şi izotrope, dar cu continuitatea diferită (fig. XIV.14).

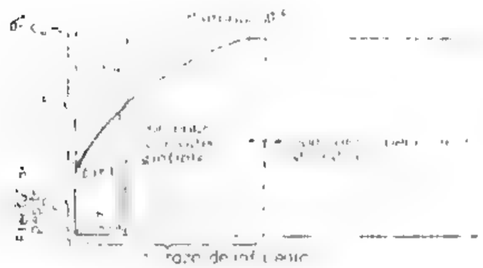


Fig. XIV.13. Caracteristicile puse în evidenţă de semivariogramă şi de covariogramă la un model cu plafon.

Din fig. XIV.14, *a* rezultă că la aceeaşi distanţă h dintre lucrări, în zăcămîntul *1* rezervele se obţin cu o eroare de estimare mult mai mică decît în zăcămînuul *2*. Invers, pentru comiterea aceleiaşi erori de estimare a rezervelor, în cadrul zăcămîntului *2* lucrările trebuie executate la distanţe (d_2), mult mai mici decît în zăcămîntul *1* (d_1), (fig. XIV.14, *b*).

Considerînd gradul de variabilitate diferit, se poate constata influenţa lui asupra desimii lucrărilor geologice şi a varianţei erorii de estimare a rezervelor, ca în fig. XIV.14,*c*

Rolul hotărîtor al razei de influenţă este ilustrat în fig. XIV. 14, *d* şi XIV.14, *e*.

Anizotropia mineralizaţiei impune distanţe deosebite între lucrările geologice în diferitele direcţii ale zăcămîntului. În cazul unui zăcămînt tabular, dacă razele de influenţă în direcţiile principale de variaţie a mineralizaţiei sînt a_x şi a_y, atunci distanţele necesare între lucrările geologice pe cele două direcţii (d_x şi d_y) trebuie să fie în proporţia

$$\frac{d_x}{d_y} = \frac{a_x}{a_y}.$$

5.2.3. CALCULUL SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Aşa cum a fost definită, semivariograma nu poate fi determinată direct. Din datele obţinute în lucrările de cercetare geologică se obţine un estimator al semivariogramei, numit *semivariogramă experimentală*.

În vederea calculării semivariogramei experimentale se procedează în felul următor :

— se stabilesc direcţiile în care urmează a se calcula semivariograma experimentală ; în cazul zăcămintelor tabulare se aleg cel puţin două direcţii, iar la zăcămintele izometrice cel puţin trei direcţii ; la alegerea acestor direcţii trebuie avut în vedere atît modul de variaţie a mineralizaţiei cît şi amplasamentul lucrărilor geologice ;

— pentru fiecare direcţie în care urmează să se calculeze semivariograma experimentală se fixează lungimea minimă d şi maximă D a vectorului $\bar{h}$; distanţa minimă variază în funcţie de metodica de cercetare şi ea nu poate fi mai mică decît distanţa medie

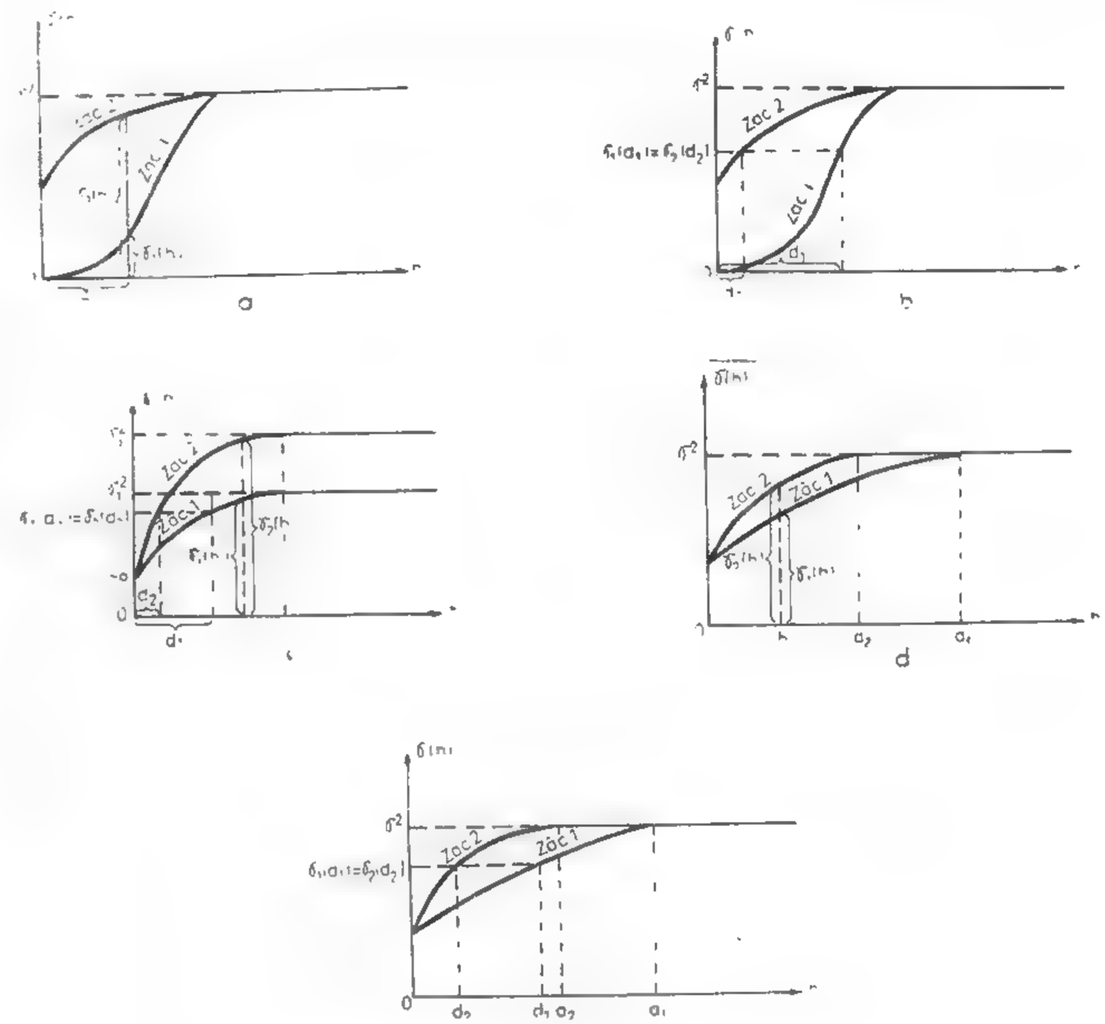


Fig. XIV.14. Influenţa caracteristicilor puse în evidenţă de semivariogramă asupra gradului de precizie al rezervelor şi a densităţii lucrărilor geologice :

a — influenţa continuităţii mineralizaţiei asupra grauldui de precizie a rezervelor geologice ; *b* — influenţa continuităţii mineralizaţiei asupra densităţii lucrărilor geologice ; *c* — influenţa gradului de variabilitate a mineralizaţiei asupra densităţii lucrărilor geologice şi a preciziei estimării rezervelor ; *d* — rolul razei de influenţă privind eroarea de estimare a rezervelor ; *e* — rolul razei de influenţă privind densitatea lucrărilor geologice.

dintre lucrările pe direcția respectivă ; distanța maximă variază între dimensiunea maximă a unei unități de calcul și 1/2 din extinderea zăcămîntului pe direcția considerată ; semivariograma se calculează pentru distanțele $h_i = id$, unde i variază între 1 și o valoare maximă pentru care $h_i \leqslant D$;

— lucrările geologice nu se execută, de regulă, rigid pe aceeași direcție și la distanțe fixe între ele, de aceea se adoptă, pentru fiecare direcție j, toleranțe de direcție $\Delta\theta_{ji}$ și de distanță Δd_{ji}, separat pe distanțe h_i ;

— semivariograma în direcția θ_j, pentru distanța h_i, se calculează cu ajutorul formulei :

$$\gamma(h_i,\ \theta_j) = \frac{1}{2n_{ij}} \sum_x [f(x + h_i) - f(x)]^2$$

în care n_{ij} reprezintă numărul perechilor de lucrări sau probe care se înscriu în direcția θ_j și distanța h_i.

Semivariograma experimentală se obține sub formă tabelară, cu valorile pentru fiecare distanță în cadrul direcțiilor luate în considerare.

5.2.4. MODELAREA SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Semivariograma experimentală prezintă două neajunsuri în utilizarea ei directă la estimarea rezervelor :

— valorile sale se cunosc doar în 2—3 direcții și în fiecare direcție numai pentru anumite distanțe h ; în procesul estimării rezervelor sînt necesare valorile semivariogramei pentru orice direcție și distanță ;

— semivariograma experimentală prezintă o serie de fluctuații datorate componentei aleatoare din variația mineralizației.

Datorită acestor motive este necesar ca din valorile semivariongramei experimentale să se deducă un model, numit *semivariogramă teoretică*, care să elimine variațiile aleatoare și să ia valori cît mai apropiate de cele experimentale. În fig. XIV.15 se reprezintă schematic o semivariogramă experimentală și modelul teoretic corespunzător..

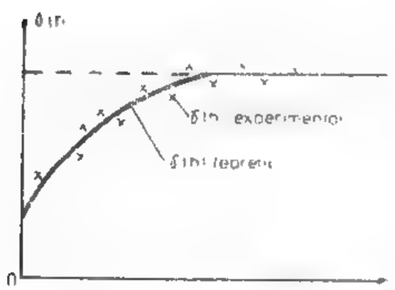


Fig. XIV.15. Modelarea semivariogramei experimentale.

La modelarea semivariogramei experimentale trebuie avute în vedere următoarele :

— alegerea modelului de semivariogramă teoretică ;

— determinarea parametrilor semivariogramei teoretice, astfel ca să treacă cît mai aproape de punctele semivariogramei experimentale.

În vederea alegerii modelului semivariogramei teoretice se reprezintă grafic punctele semivariogramei experimentale în același sistem de axe, trasîndu-se și plafonul (dreapta orizontală la distanța σ^2 de axa oh). Pentru modelul teoretic se alege una din funcțiile $\gamma(h)$ descrise în literatura de specialitate.

5.2.4.1. Mineralizații izotrope

Adesea, mineralizația se comportă aproximativ la fel în toate direcțiile. Acest lucru este pus în evidență de faptul că valorile semivariogramei pentru aceeași distanță h, calculate în diferite direcții, sînt aproximativ egale. În asemenea cazuri spunem că variabila regionalizată studiată este izotropă. Din valorile semivariogramei experimentale, calculate în 2—3 direcții, se calculează una medie, prin ponderare după numărul perechilor de puncte, separat pentru fiecare lungime h, ca în exemplul din tabelul XIV.19.

Tabelul XIV.19

Calculul semivariogramei experimentale medii

Distanța h_i	Direcția 1		Direcția 2		Direcția 3		Media	
	n_{i1}	$\gamma_1(h_i)$	n_{i2}	$\gamma_2(h_i)$	n_{i3}	$\gamma_3(h_i)$	n_i	$\gamma(h_i)$
25	520	0,04	570	0,06	85	0,05	1175	0,0504
50	500	0,12	550	0,10	80	0,11	1130	0,1152
75	470	0,18	520	0,17	77	0,18	1067	0,1751
100	420	0,21	500	0,20	72	0,21	992	0,2050

În acest exemplu, γ (50) a rezultat în felul următor :

$$\gamma(50) = \frac{500 \cdot 0,12 + 550 \cdot 0,10 + 80 \cdot 0,11}{500 + 550 + 80} = 0,1152$$

Se subliniază că o semivariogramă medie numai atunci se poate calcula cînd din tabele și mai ales din grafice rezultă că în toate direcțiile semivariograma experimentală este aproximativ aceeași, adică este izotropă.

Semivariograma teoretică, în cazul izotrop, este de forma :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1\gamma_1(h)$$

unde C_0 și C_1 sînt constante iar γ_1 (h) este o funcție de h care mai poate depinde și de un parametru, notat de regulă cu a. După tipul funcției γ_1 (h), din literatura de specialitate și din numeroase aplicații practice realizate pe plan mondial și la noi în țară au rezultat următoarele modele principale de semivariogramă teoretică :

Modele cu plafon. Sînt cele în care semivariograma se stabilizează în jurul plafonului. Dintre acestea cel mai important este *modelul sferic al lui Matheron*, cu expresia :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1\left[1,5\dfrac{h}{a} - 0,5\left(\dfrac{h}{a}\right)^3\right] & \text{pentru } h < a \\ C_0 + C_1 & \text{pentru } h \geqslant a \end{cases}$$

Acesta este modelul care apare în marea majoritate a zăcămintelor. Semnificația parametrilor C_0, C_1 și a rezultă din fig. XIV.16, *a*.

Un alt model cu plafon este cel *exponențial*, cu expresia :

$$h) = C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h}{a}})$$

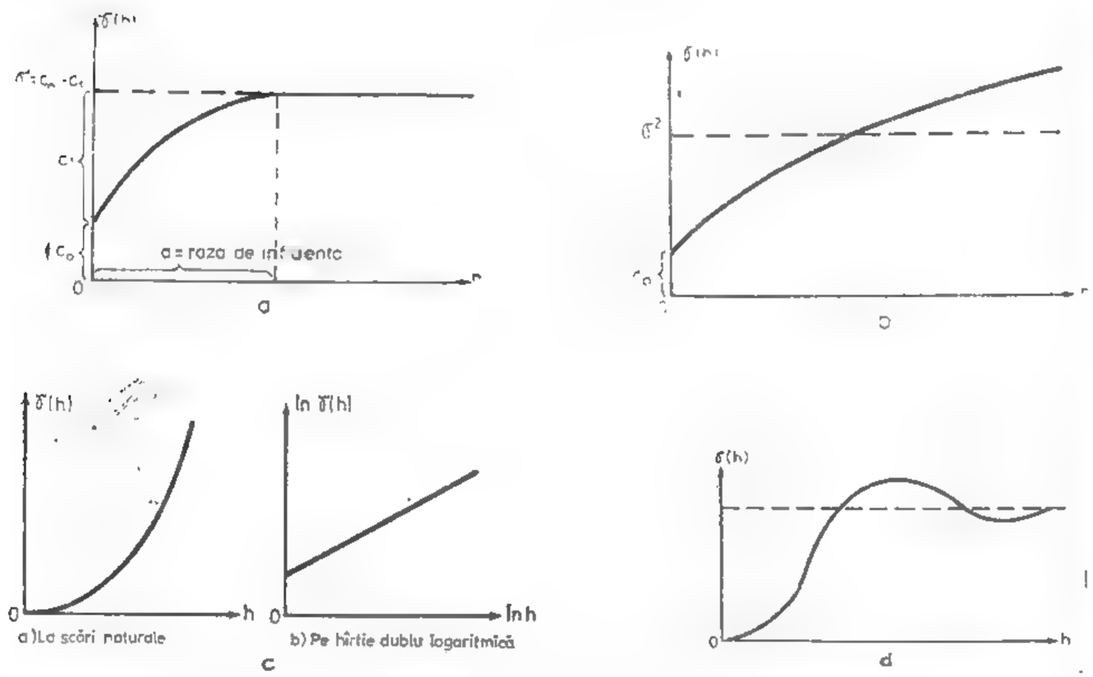


Fig. XIV.16. Modele de semivariogramă teoretică :

a — model sferic ; *b* — model logaritmic ; *c* — model parabolic ; *d* — model sinusoidal.

al cărui grafic diferă de cel al modelului sferic doar prin faptul că curba $\gamma(h)$ atinge asimptotic plafonul σ^2.

Un model extrem sste cel *aleator*, cînd , de la început, semivariograma oscilează jurul plafonului, deci are expresia analitică :

$$\gamma(h) = \sigma^2$$

Modelul aleator poate apare doar în cazul unor zăcăminte cu o distribuție pur aleatoare a componenților utili, cum ar fi unele zăcăminte cu aur nativ. În asemenea situații, și numai în acestea, geostatistica conduce la aceleași rezultate ca și metodele statistice-matematice. Întrucît lipsește complet corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, nu se pot calcula conținuturi medii pe unități de calcul, ci doar pe total corp de substanță minerală utilă.

Modele fără plafon. Sînt cele în care semivariograma crește mereu, depășind plafonul σ^2. În asemenea cazuri se adoptă unul din următoarele modele :

Modelul De Wijs (*logaritmic*) are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \ln h \qquad (h \geqslant 1)$$

Acest model poate fi recunoscut după faptul că pe hîrtie semilogaritmică [ln h ; $\gamma(h)$] punctele semivariogramei experimentale se distribuie aproximaitv pe o linie dreaptă.

Grafic, acest model apare ca în fig. XIV.16, *b*.

Modelul liniar în care punctele semivariogramei experimentale sînt aproximativ pe o dreaptă în sistemul de axe [h, $\gamma(h)$] și are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 h$$

Cu titlu informativ se mai prezintă două modele, cu aplicații foarte rare.

Modelul parabolic, cînd pe hîrtie dublu logaritmică semivariograma teoretică devine o linie dreaptă. Expresia sa analitică este :

$$\gamma(h) = ah^b$$

cu graficul din figura XIV.16, *c*.

Modelul sinusoidal, cu expresia analitică :

$$\gamma(h) = C\left(1 - \frac{\sin ah}{ah}\right)$$

avînd graficul din figura XIV.16, *d*.

Cazurile în care semivariograma teoretică poate fi exprimată cu ajutorul unui singur model din cele prezentate constituie *structurile simple*.

Uneori nici unul din modelele prezentate nu aproximează suficient de bine semivariograma experimentală, dar dacă se ia suma a două sau a mai multora din modelele descrise, se poate ajunge la o semivariogramă teoretică care trece foarte aproape de punctele semivariogramei experimentale. În asemenea cazuri sîntem în prezența unor *structuri compuse*, a căror expresie analitică este de forma :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1\gamma_1(h) + C_2\gamma_2(h) + \ldots$$

De exemplu, în cazul unei structuri copuse din două modele sferice, expresia analitică a semivariogramei teoretice devine :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1\left[1{,}5\dfrac{h}{a_1} - 0{,}5\left(\dfrac{h}{a_1}\right)^3\right] + C_2\left[1{,}5\dfrac{h}{a_2} - 0{,}5\left(\dfrac{h}{a_2}\right)^3\right] & \text{pentru } h < a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2\left[1{,}5\dfrac{h}{a^2} - 0{,}5\left(\dfrac{h}{a_2}\right)^3\right] & \text{penru } a_1 \leqslant h < a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & \text{pentru } h \geqslant a_2 \end{cases}$$

5.2.4.2. Mineralizații anizotrope

Dacă în diferitele direcții semivariograma experimentală are valori semnificativ deosebite, spunem că variabila regionalizată *este anizotropă*. În asemenea cazuri se pune problema găsirii unui model teoretic care să permită calcularea valorilor semivariogramei în orice direcție. Se vor prezenta în continuare principalele două tipuri de anizotropie.

Anizotropia geometrică. În cazul izotrop, zona de influență a unei probe este un cerc în cazul bidimensional, respectiv o sferă în cel tridimensional.

Dacă printr-o transformare a axelor x, y, z în axele x', y', z', definită prin relațiile :

$$x' = x$$

$$y' = k_y y$$

$$z' = k_z z$$

se ajunge la o semivariogramă izotropă, avem o *anizotropie geometrică*. În acest caz zona de influență a unei probe este o elipsă, respectiv un elipsoid de semiaxe a_x, a_y, a_z, care prin schimbarea de axe menționată se transformă într-o sferă de rază a_x.

Coeficienții k_y și k_z se numesc *rapoarte de anizotropie*; expresia lor diferă de la un model la altul.

Fiind dat un vector cu extremitățile în $M_1(x_1, y_1, z_1)$ și $M_2(x_2, y_2, z_2)$, mărimea sa h este dată de expresia :

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2 + h_z^2}$$

unde h_x, h_y, h_z sînt proiecțiile vectorului $\vec{h}$ pe direcțiile ox, oy și oz, adică :

$$h_x = y_2 - x_1$$

$$h_y = y_2 - y_1$$

$$h_z = z_2 - z_1$$

Prin schimbările de axe $x' = x$; $y' = k_y y$ și $z' = k_z z$, lungimea h se transformă în lungimea h' :

$$h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$$

În vederea stabilirii unei expresii unice pentru semivariograma teoretică, valabilă în orice direcție, în cazul anizotropiei geometrice se pun următoarele probleme :

— stabilirea semivariogramei teoretice, separat pentru fiecare direcție : $\gamma_x(h)$, $\gamma_y(h)$ și $\gamma_z(h)$;

— verificarea condițiilor pentru anizotropia geometrică ;

— calcularea rapoartelor de anizotropie : k_y și k_z ;

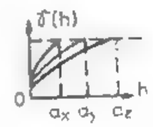
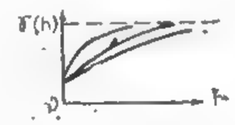
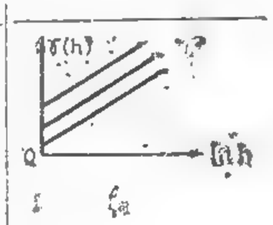
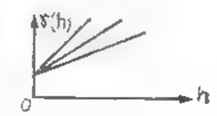
— scrierea expresiei analitice a semivariogramei teoretice, valabilă în orice direcție

Semivariograma teoretică pentru fiecare direcție în parte se obține la fel ca în cazul izotrop. Din tabelul XIV.20 rezultă modul de rezolvare a celorlalte trei probleme.

Anizotropia zonară este urmare așa-numitului *efect de stratificație* și constă în faptul că în secțiuni plane (de regulă orizontale) semivariograma este izotropă, eventual prezintă o anizotropie geometrică, iar pe direcția perpendiculară pe aceste plane (deci, de regulă, după verticală) semivariograma are valori mai mari.

Tabelul XIV.20

Criterii de recunoaștere și modul de tratare a anizotropiei geometrice

Modelul în fiecare direcție	Condițiile anizotropiei geometrice	Rapoartele de anizotropie		Expresia analitică a modelului, valabilă în orice direcție	Graficul modelelor în cele trei direcții
		k_y	k_z		
Sferic (Matheron)	$C_{0x}=C_{0y}=C_{0z}$ $C_{1x}=C_{1y}=C_{1z}$	$\frac{a_x}{a_y}$	$\frac{a_x}{a_z}$	$C_0 + C_1\left[1{,}5\frac{h'}{a_x} - 0{,}5\left(\frac{h'}{a_x}\right)^3\right]$ dacă $h' < a_x$ $C_0 + C_1$ dacă $h' \geqslant a_x$	
Exponențial	Idem	Idem	Idem	$C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h'}{a_x}})$	
Logaritmic (De Wijs)	$C_{1x}=C_{1y}=C_{1z}$	$e^{\frac{C_{0y}-C_{0x}}{C_1}}$	$e^{\frac{C_{0z}-C_{0x}}{C_1}}$	$C_{0x} + C_1 \ln h'$	
Liniar	$C_{0x}=C_{0y}=C_{0z}$	$\frac{C_{1y}}{C_{1x}}$	$\frac{C_{1z}}{C_{1x}}$	$C_0 + C_{1x}h'$	

În toate cazurile, $h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$

Fie $\gamma_{xy}(h)$ semivariograma experimentală în secțiuni orizontale și $\gamma_z(h)$ valorile ei pe verticală. Se consideră că $\gamma_z(h)$ este semivariograma globală, compusă din componenta izotropă $\gamma_{xy}(h)$ și o componentă zonară $\lambda_{zon}(h_z)$, care nu are influență în secțiuni orizontale. În aceste condiții, pentru stabilirea semivariogramei $\gamma(h)$, valabilă în orice direcție, se procedează astfel:

— se determină modelul teoretic al semivariogramei experimentale, calculată după diferite direcții din secțiuni orizontale, pe care îl notăm cu $\gamma_{izo}(h)$. (Se reamintește că $\gamma_{izo}(h_z)$ poate reprezenta și o semivariogramă cu anizotropie geometrică);

— se calculează diferențele valorilor experimentale $\gamma_z(h) - \gamma_{xy}(h)$; aceste diferențe se consideră valorile experimentale ale unei semivariograme; se determină modelul diferențelor, $\gamma_{zon}(h_z)$;

— modelul teoretic căutat, valabil pentru orice direcție, este:

$$\gamma(h) = \gamma_{izo}(h) + \gamma_{zon}(h_z)$$

Se subliniază faptul că în timp ce componenta izotropă depinde de lungimea vectorului $\bar{h}$, componenta zonară depinde doar de proiecția h_z a acestui vector pe direcția oz.

După alegerea modelului semivariogramei teoretice, trebuie determinate valorile numerice ale parametrilor care intervin în expresia lui. De observat că unii parametri sînt liniari (ex.: C_0 și C_1), iar alții sînt neliniari (ex.: a în modelul sferic și exponențial). Există o serie de metode practice simple pentru determinarea acestor parametri. Cele mai bune rezultate se obțin utilizînd metoda celor mai mici patrate, folosind calculatoarele electronice.

5.2.5. METODA KRIGE — DETERMINAREA ESTIMATORULUI OPTIM ȘI A VARIANȚEI ERORII DE ESTIMARE

Fie o unitate de calcul al rezervelor D (panou, bloc etc.), cercetată cu lucrările $L_1, L_2, \ldots L_n$, în care s-au determinat valorile $v_1, v_2, \ldots, v_n$ ale unei caracteristici (ex.: grosime, conținutul într-un component util etc.). Se pune problema determinării valorii medii $\bar{v}$ a acestei caracteristici în unitatea de calcul D, pe baza datelor experimentale $v_1, v_2, \ldots, v_n$. Orice metodă de estimare a rezervelor determină media $\bar{v}$ ca o combinație liniară a valorilor experimentale v_i, sub forma:

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot v_i$$

unde λ_i sînt ponderi nenegative, îndeplinind condiția:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$$

pentru a exclude erorile sistematice în estimare. Fie v_0 media reală (care nu poate fi stabilită niciodată) a caracteristicii v în unitatea de calcul D. Există ∞^{n-1} seturi de n numere λ_i nenegative, cu suma $= 1$, deci cu aceleași date experimentale v_i se pot obține pe o unitate de calcul ∞^{n-1} medii, în general diferite între ele. Media reală este însă una singură, v_0. Diferitele medii prezintă deci diferențe deosebite față de media reală, deci erori de estimare diferite. Din toate seturile posibile de ponderi λ_i geostatistica alege unul singur

acela care face minimă varianța erorii de estimare. Spre deosebire de oricare alt estimator, media obținută prin metoda geostatistică poartă numele de *estimator Krige*, iar varianța erorii de estimare corespunzătoare, *varianța erorii Krige*, acestea notîndu-se cu v_k, respectiv σ_k^2. Prin urmare, geostatistica determină valoarea medie prin relația:

$$v_k = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot v_i$$

ponderile λ_i determinîndu-se astfel ca să fie îndeplinite condițiile:

$$\begin{cases} \sigma_k^2 = \text{minim} \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \end{cases}$$

Impunînd aceste condiții, ponderile λ_i sînt soluțiile următorului sistem, numit *sistemul lui Krige*:

$$\begin{cases} \gamma_{11}\lambda_1 + \gamma_{12}\lambda_2 + \ldots + \gamma_{1n}\lambda_n + \mu = \gamma_{1D} \\ \gamma_{21}\lambda_1 + \gamma_{22}\lambda_2 + \ldots + \gamma_{2n}\lambda_n + \mu = \gamma_{2D} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \gamma_{n1}\lambda_1 + \gamma_{n2}\lambda_2 + \ldots + \gamma_{mn}\lambda_n + \mu = \gamma_{nD} \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_n = 1 \end{cases}$$

unde: μ este multiplicator Lagrange;

γ_{ij} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului $\bar{h}$ descrie lucrarea L_i, iar extremitatea lui lucrarea L_j; evident, $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$;

γ_{iD} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului $\bar{h}$ descrie lucrarea L_i, iar extremitatea lui unitatea de calcul D.

După rezolvarea sistemului lui Krige, varianța erorii de estimare se calculează cu ajutorul relației:

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^{n} \gamma_{iD} + \mu - \gamma_{DD}$$

în care γ_{DD} reprezintă valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea și extremitatea vectorului $\bar{h}$ descriu, independent una de alta, domeniul D.

5.2.6. INTERVALUL DE ÎNCREDERE AL CANTITĂȚII ȘI CALITĂȚII REZERVELOR. GRADUL DE PRECIZIE AL VALORILOR ESTIMATE

Prin lucrările de cercetare geologică executate, caracteristicile zăcămintelor (grosime, conținut, greutate volumetrică etc.) se determină într-un număr limitat de puncte, apoi aceste valori se extind asupra unităților de calcul (panouri, blocuri). Datorită acestui fapt, indiferent de metoda de calcul folosită, rezervele estimate nu coincid niciodată cu

cele reale, adică ele sînt afectate de erori. Notînd cu v_k valoarea estimată a unei caracteristici și cu v_0 valoarea sa reală, eroarea de estimare absolută este :

$$\varepsilon = v_k - v_0$$

Eroarea de estimare nu poate fi determinată niciodată, ci doar varianța ei, σ_k^2. Se admite că eroarea de estimare are o distribuție normală (Gauss-Laplace). În aceste condiții, se poate afirma că există o probabilitate P ca eroarea de estimare să fie cuprinsă în intervalul $(-t\,\sigma_k, t\sigma_k)$, unde $\sigma_k = \sqrt{\sigma_k^2}$ se numește *eroare standard*, iar t este valoarea parametrului din funcția corespunzătoare distribuției normale :

$$2P(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}}\, dx$$

Se dau valorile lui t pentru diferite probabilități $P(t)$:

$P(t)$ [%]	t
70	1,036
80	1,282
90	1,645
95	1,960

Definim *gradul de precizie* al estimării unei caracteristici v, valoarea minimă pe care se poate conta cu o probabilitate P, exprimată în procente față de valoarea medie v_z a caracteristicii pe domeniul geometric în care s-a determinat semivariograma (întregul zăcămînt sau un corp de substanță minerală utilă) :

$$p = 100\left(1 - \frac{t\sigma_k}{v_z}\right)$$

Intervalul $\left(\frac{p}{100} v_k, \frac{200 - p}{100} v_k\right)$ se numește *interval de încredere*. Sensul practic al intervalului de încredere este următorul : există o probabilitate P % ca media reală v_0 să fie cuprinsă în intervalul respectiv.

Prin metoda Krige se obține varianța erorii de estimare a grosimii medii (la zăcămintele tabulare) și a conținuturilor medii, pe unități de calcul.

Ținînd seama de faptul că cantitatea de rezerve este produsul dintre suprafață, grosime și masa volumetrică ($R = S \cdot g \cdot \gamma$), varianța erorii de estimare a cantității de rezerve σ_R^2 rezultă din relația :

$$\frac{\sigma_R^2}{R^2} = \frac{\sigma_S^2}{S^2} + \frac{\sigma_g^2}{\bar{g}^2} + \frac{\sigma_\gamma^2}{\bar{\gamma}^2}$$

Cunoscînd varianța erorii de estimare a cantității de rezerve (σ_R^2) și a conținutului mediu (σ_c^2), varianța erorii de estimare a cantității de metal σ_M^2 este :

$$\frac{\sigma_M^2}{M^2} = \frac{\sigma_R^2}{R^2} + \frac{\sigma_c^2}{\bar{c}^2}$$

Fie n unități de calcul pentru care s-au stabilit cantitățile de rezerve $R_1, R_2, \ldots R_n$ și conținuturile medii $c_1, c_2, \ldots, c_n$, cu varianțele erorilor de estimare $\sigma_{R_i}^2$ respectiv $\sigma_{c_i}^2 (i = 1, 2, \ldots, n)$. Cumulînd aceste rezerve se obțin :

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i c_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i}$$

Varianța erorii de estimare a cantității și calității rezervelor cumulate este :

$$\sigma_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i^2 \sigma_{R_i}^2}{(R_1 + R_2 + \ldots R_n)^2}; \qquad \sigma_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i^2 \sigma_{c_i}^2}{(R_1 + R_2 + \ldots + R_n)^2}$$

XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ȘI FOTOGRAMMETRIE

Prof. dr. ing. NICOLAE DIMA
Șef lucrări dr. ing. IONIȚĂ PĂDURE
Șef lucrări ing. STANCA NICULESCU

Topografia se ocupă cu reprezentarea pe o suprafață plană a unei porțiuni de teren în scopul realizării și rezolvării în bune condițiuni a multiplelor probleme de organizare a teritoriului, de construcții industriale și civile, hidrotehnice, căi de comunicație, miniere etc.

Reprezentarea trebuie să asigure obținerea unei imagini clare a terenului, spre a fi precis cunoscut ca mărime, conținut și formă în expresia lor geografică.

La baza reprezentărilor stau măsurătorile topografice care se efectuează în teren asupra elementelor ce trebuie să fie reprezentate și care formează așa-numitele *detalii topografice*.

Detaliile topografice pot fi naturale (munți, dealuri, cursuri de apă, povirnișuri, limite naturale etc.) sau artificiale (construcții la suprafață sau subterane, orice delimitare realizată de om).

Măsurătorile topografice prelucrate după anumite metode conduc la rezultate care transpuse pe planul de reprezentare conturează grafic porțiunea de traseu cu toate detaliile ce le conține.

Ansamblul de operații care cuprind măsurătorile topografice, calculul și raportarea pe plan poartă denumirea de *ridicare topografică*. Rezultatul concret al unei ridicări topografice este *planul topografic* sau *harta topografică*.

Planurile și hărțile topografice sînt documente nelipsite în probleme de studii și organizări de teritoriu, în probleme de studii și analize geografice și geologice, în probleme de proiectare de construcții din cele mai diferite domenii etc.

Proiectele de construcții realizate pe baza planurilor topografice urmează a fi transpuse (aplicate) în teren cu toate detaliile de construcție ale acestora.

Aplicarea în teren a proiectelor este realizabilă tot cu ajutorul unui ansamblu de operații topografice denumite *operații topografice de trasare*.

Așadar topografia rezolvă două mari și importante probleme — *ridicarea terenurilor* și *aplicarea în teren a proiectelor* (*trasarea*).

Cu cît topografia va rezolva mai bine aceste două teme, ridicarea și trasarea, cu atît va atinge mai bine scopul.

Punerea în valoare a zăcămintelor de substanțe minerale utile prin exploatări miniere subterane și exploatări miniere la zi implică cunoștințe de topografie în general și de topografie minieră în special, aceasta din urmă rezolvînd problemele de ridicare și trasare precizate mai sus și, evident, cu multiple particularități.

Gama largă a problemelor specifice topografiei miniere se referă la două genuri de activități principale: *de concepție* (proiectare, sistematizare, prognoze, metode și procedee moderne de preluare și prelucrare a informațiilor etc.) și *de execuție* (redactări de planuri topografice, trasarea și urmărirea în timp a construcțiilor miniere, evidența producției etc.).

Problemele cu care viitorul specialist se confruntă în activitatea practică, de proiectare, de cercetare, de conducere și direcționare a lucrărilor miniere de deschidere, înaintare, pregătire și exploatare a zăcămintelor de substanțe minerale utile, implică cunoș-

tințe bine fundamentate privind metodologiile de prelucrare a datelor, de întocmire și redactare a hărților și planurilor topografice, de orientare a rețelelor geodezice de sprijin de amplasare a obiectivelor industriale și miniere, de urmărire a stabilității acestora a suprafețelor agricole și forestiere, de dimensionare a pilierilor de siguranță etc.

De asemenea, se impune cunoașterea problemelor noi care privesc rezolvarea, în corelare cu geologia, a modului de distribuție spațială a mineralizației în zăcămînt, utilizarea fotogrammetriei, fotointerpretării și teledetecției în determinarea și controlul unor mărimi și fenomene foarte importante domeniului minier de activitate etc.

Volumul mare de informații impune prelucrarea automată a datelor, deci cunoștințe fundamentale și de specialitate temeinice în acest scop.

1. TEORIA ERORILOR DE MĂSURARE

Dacă o mărime se măsoară de mai multe ori, de fiecare dată se obține o altă valoare, chiar dacă măsurătorile se efectuează în aceleași condiții și cu instrumente de mare precizie.

Cauza acestei nepotriviri de valori se datorește erorilor care afectează întotdeauna o măsurătoare, făcînd ca valoarea adevărată a mărimii măsurate să nu poată fi cunoscută niciodată.

Practic, neputînd fi determinată valoarea adevărată a mărimii măsurate, se caută o valoare apropiată de cea adevărată, într-un grad mai mare sau mai mic, funcție de scopul pentru care se execută măsurătorile.

Apropierea mărimii determinate față de valoarea adevărată a acesteia caracterizează *precizia determinării*.

Prelucrarea măsurătorilor efectuate asupra unei mărimi urmărește obținerea celei mai bune valori ale acesteia și a diferenței maxime posibile între valoarea determinată și valoarea adevărată.

1.1. CLASIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile, ale căror erori constituie obiectul de studiu al prezentei teorii, diferă după modul lor de prezentare și în raport cu condițiile în care sînt executate.

Astfel, după modul lor de prezentare sînt grupate în măsurători *directe*, măsurători *indirecte* și măsurători *directe cu condiții* (*condiționate*).

După condițiile în care sînt executate, măsurătorile pot fi de aceeași precizie și de precizii diferite.

a) *Măsurătorile directe* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul direct asupra mărimii care se măsoară.

b) *Măsurătorile indirecte* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul asupra altor mărimi, urmînd ca mărimile care interesează să se obțină indirect prin calcul.

c) *Măsurătorile condiționate* se caracterizează prin aceea că mărimile sînt rezultatul direct al observațiilor ce se efectuează, însă acestea trebuie să îndeplinească anumite restricții.

d) *Măsurători de aceeaşi precizie* sînt măsurătorile efectuate cu acelaşi instrument şi în aceleaşi condiţii, ceea ce înseamnă că observaţiile pot fi considerate cu acelaşi grad de încredere.

e) *Măsurători de precizii diferite* sînt măsurătorile efectuate în condiţii diferite, metode diferite de lucru sau cu instrumente diferite.

1.2. MĂSURĂTORI DIRECTE DE ACEEAŞI PRECIZIE

Considerăm că asupra unei mărimi sînt efectuate observaţiile $O_1, O_2, \ldots, O_n$. Valoarea cea mai probabilă M a mărimii măsurate este dată de media aritmetică a observaţiilor, respectiv :

$$M = \frac{O_1 + O_2 + O_3 + \ldots + O_n}{n} = \frac{[O]}{n} \tag{1.1}$$

Faţă de valoarea probabilă, valoarea cea mai bună, se definesc erorile aparente $V_1, V_2, \ldots, V_n$, ca fiind :

$$V_i = O_i - M \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.2}$$

Faţă de valoarea adevărată a mărimii măsurate X se definesc erorile reale $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$, ca fiind :

$$\varepsilon_i = O_i - M \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.3}$$

Funcţie de erorile reale, se defineşte eroarea medie pătratică a unei singure măsurători m_0 cu relaţia :

$$m_0^2 = \frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} \tag{1.4}$$

Se poate arăta egalitatea :

$$\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} = \frac{[VV]}{n-1}$$

Deci :

$$m_0^2 = \frac{[VV]}{n-1}$$

Sau :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \tag{1.5}$$

Se notează cu m eroarea medie pătratică a mediei aritmetice, iar valoarea acesteia se obţine cu relaţia :

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{n}} \tag{1.6}$$

Rezultatul măsurătorilor se prezintă :

$$X = M \pm m \tag{1.7}$$

Dacă sînt măsurate direct şi cu aceeaşi precizie mai multe mărimi independente $l_1, l_2, \ldots, l_n$, pentru a determina eroarea unei funcţii :

$$x = f(l_1, l_2, \ldots, l_n) \tag{1.8}$$

de mărimile măsurate, se foloseşte relaţia :

$$m_x = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 m^2\right]} \tag{1.9}$$

1.3. MĂSURĂTORI DIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Se consideră că asupra unei mărimi sînt efectuate observaţiile $O_1, O_2, \ldots, O_n$ cu precizii diferite, deci au erorile $m_1, m_2, m_3, \ldots, m_n$.

Valoarea probabilă M a mărimii măsurate este dată de o medie aritmetică ponderată, respectiv :

$$M = \frac{p_1 O_1 + p_2 O_2 + \ldots + p_n O_n}{p_1 + p_2 + \ldots + p_n} = \frac{[pO]}{[p]} \tag{1.10}$$

unde :

$$p_i = \left(\frac{m_0}{m_i}\right)^2 \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.11}$$

reprezintă ponderile mărimilor măsurate, m_0 fiind eroarea medie pătratică a unităţii de pondere.

Cum m_0 nu influenţează valoarea mediei aritmetice, rezultă că ponderile pot fi calculate şi cu relaţia :

$$p_i = \frac{1}{m_i^2} \tag{1.12}$$

Erorile aparente se definesc, ca şi în cazul măsurătorilor directe, de aceeaşi precizie, cu care se obţin :

— eroarea medie pătratică a unităţii de pondere

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pVV]}{n-1}} \tag{1.13}$$

— eroarea medie pătratică a mediei aritmetice ponderate

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{[p]}} \tag{1.14}$$

În cazul funcţiilor de mărimi măsurate direct şi de precizii diferite, de forma (1.8), se stabileşte ponderea funcţiei, folosind :

$$\frac{1}{p_x} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 \frac{1}{p}\right] \tag{1.15}$$

1.4. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE ACEEAŞI PRECIZIE

Cazul general al măsurătorilor indirecte se prezintă printr-un sistem de funcţii de legătură neliniare între mărimile măsurate şi mărimile necunoscute de forma :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \ldots, x_k) &= l'_1 \\ f_2(x_1, x_2, \ldots, x_k) &= l'_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ f_n(x_1, x_2, \ldots, x_k) &= l'_n \end{aligned} \tag{1.16}$$

unde :

$x_1, x_2, \ldots, x_k$ sînt necunoscutele ;

$l'_1, l'_2, \ldots, l'_k$ sînt mărimile măsurate considerate fără eror

Se notează cu $l_1^0, l_2^0 \ldots, l_k^0$, mărimile măsurate şi eronate, cum dealtfel există practic, şi se obţine :

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \ldots, x_k) - l_1^0 &= V_1 \\ f_2(x_1, x_2, \ldots, x_k) - l_2^0 &= V_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ f_n(x_1, x_2, \ldots, x_k) - l_n^0 &= V_n \end{aligned} \tag{1.17}$$

Sitemul (1.17) conţine atîtea ecuaţii cîte mărimi măsurate există, iar numărul lor depăşeşte cu mult numărul necunoscutelor, adică :

$$n > k$$

Pentru liniarizarea funcţiilor (1.17) se notează cu $x_1^0, x_2^0, \ldots, x_k$ valorile aproximative ale necunoscutelor. Aceste valori se pot obţine simplu dacă se rezolvă primele k

Schema de calcul

Nr. crt.	a	b	c	l	s	aa	ab	ac	al
1	a_1	b_1	c_1	l_1	s_1	a_1a_1	a_1b_1	a_1c_1	a_1l_1
2	a_2	b_2	c_2	l_2	s_2	a_2a_2	a_2b_2	a_2c_2	a_2l_2
3	a_3	b_3	c_3	l_3	s_3	a_3a_3	a_3b_3	a_3c_3	a_3l_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	a_n	b_n	c_n	l_n	s_n	a_na_n	a_nb_n	a_nc_n	a_nl_n
	$[a]$	$[b]$	$[c]$	$[l]$	$[s]$	$[aa]$	$[ab]$	$[ac]$	$[al]$

ecuaţii din sistemul (1.16). Fie $\Delta x_1, \Delta x_2, \ldots, \Delta x_k$ creşterile valorilor aproximative, cu care pot fi scrise egalităţile :

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^0 + \Delta x_1 \\ x_2 &= x_2^0 + \Delta x_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ x_k &= x_k^0 + \Delta x_k \end{aligned} \tag{1.18}$$

Introducînd egalităţile (1.18) în (1.17) şi dezvoltînd în serie *Taylor* se obţine :

$$\begin{aligned} a_1 \Delta x_1 + b_1 \Delta x_2 + \ldots + k_1 \Delta x_k + l_1 &= V_1 \\ a_2 \Delta x_1 + b_2 \Delta x_2 + \ldots + k_2 \Delta x_k + l_2 &= V_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ a_n \Delta x_1 + b_n \Delta x_2 + \ldots + k_n \Delta x_k + l_n &= V_n \end{aligned} \tag{1.19}$$

Sistemul (1.19) reprezintă forma generală de definire a măsurătorilor indirecte şi poartă numele de *sistemul ecuaţiilor de erori*.

Se consideră un sistem de ecuaţii de erori format din n ecuaţii cu trei necunoscute :

$$a_i x + b_i y + c_i z + l_i = V_i \qquad (i = 1, 2, 3, \ldots, n) \tag{1.20}$$

Dacă erorile mărimilor măsurate sînt aceleaşi, măsurătorile sînt de aceeaşi precizie. Aplicînd sistemului (1,20) condiţia :

$$[V\ V] = \text{minim},$$

se obţine sistemul ecuaţiilor normale

$$\begin{aligned} [a\,a]\,x + [a\,b]\,y + [a\,c]\,z + [a\,l] &= 0 \\ [a\,b]\,x + [b\,b]\,y + [b\,c]\,z + [b\,l] &= 0 \\ [a\,c]\,x + [b\,c]\,y + [c\,c]\,z + [c\,l] &= 0 \end{aligned} \tag{1.21}$$

Pentru calculul coeficienţilor necunoscutelor şi al termenilor liberi se foloseşte schema XV.1.

Schema XV.1

a coeficienţilor

as	bb	bc	bl	bs	cc	cl	cs	ll	ls	ss
a_1s_1	b_1b_1	b_1c_1	b_1l_1	b_1s_1	c_1c_1	c_1l_1	c_1s_1	l_1l_1	l_1s_1	s_1s_1
a_2s_2	b_2b_2	b_2c_2	b_2l_2	b_2s_2	c_2c_2	c_2l_2	c_2s_2	l_2l_2	l_2s_2	s_2s_2
a_3s_3	b_3b_3	b_3c_3	b_3l_3	b_3s_3	c_3c_3	c_3l_3	c_3s_3	l_3l_3	l_3s_3	s_3s_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a_ns_n	b_nb_n	b_nc_n	b_nl_n	b_ns_n	c_nc_n	c_nl_n	c_ns_n	l_nl_n	l_ns_n	s_ns_n
$[as]$	$[bb]$	$[bc]$	$[bl]$	$[bs]$	$[cc]$	$[cl]$	$[cs]$	$[ll]$	$[ls]$	$[ss]$

Schema XV.2

Schema reducerii succesive

	[a]	[b]	[c]	[l]	[s]	Rîndul	Explicaţii
a]	[aa]	[ab]	[ac]	[al]	[as]	1	În rîndul 1 figurează coeficienţii şi termenul liber din prima ecuaţie normală.
		$-\frac{[ab]}{[aa]}$	$-\frac{[ac]}{[aa]}$	$-\frac{[al]}{[aa]}$	$-\frac{[as]}{[aa]}$	2	Elementele din rîndul 2 se obţin prin împărţirea elementelor din rîndul 1 la primul şi schimbînd semnul (se scriu în roşu)
	-1	[bb]	[bc]	[bl]	[bs]	3	În rîndul 3 figurează coeficienţii şi termenul liber din ecuaţia a doua normală.
b]	$x = \ldots$					4	Rîndul 4 se completează înmulţind elementele din rîndul 2 (scris în roşu) cu elementul de deasupra lui şi din coloana lui [bb].
		$-\frac{[ab][ba]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][ac]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][al]}{[aa]}$	$-\frac{[ab][as]}{[aa]}$	5	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 3 şi 4 şi analog în continuare.
		[bb.1]	[bc.1]	[bl.1]	[bs.1]	6	Se împart elementele din rîndul 5 la primul şi se schimbă semnul (se scriu în roşu).
		-1	$-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	7	Coeficienţii şi termenul liber din a treia ecuaţie normală.
c]	$y = \ldots$		[cc]	[cl]	[cs]	8	Se înmulţesc elementele din rîndul 2 cu cel de deasupra lui şi situat pe coloana lui [cc]
			$-\frac{[ac][ac]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][al]}{[aa]}$	$-\frac{[ac][as]}{[aa]}$	9	Se înmulţesc elementele din rîndul 6 cu cel de deasupra lui şi situat pe coloana lui [cc]
			$-\frac{[bc.1][bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bc.1][bs.1]}{[bb.1]}$	10	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 7, 8, şi 9.
			[cc.2]	[cl.2]	[cs.2]	11	Se împart elementele din rîndul 10 la primul şi se schimb semnul (se scriu în roşu).
			-1	$-\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$	$-\frac{[cs.2]}{[cc.2]}$		

La întocmirea schemei se va avea în vedere următoarele relaţii de control:

$$[a] + [b] + [c] + [l] = [s]$$
$$[aa] + [ab] + [ac] + [al] = [as]$$
$$[ab] + [bb] + [bc] + [bl] = [bs]$$
$$[ac] + [bc] + [cc] + [cl] = [cs] \quad \ldots$$
$$[al] + [bl] + [cl] + [ll] = [sl]$$
$$[as] + [bs] + [cs] + [ls] = [ss] \qquad (1.22)$$

Pentru rezolvarea sistemului de ecuaţii normale se utilizează metoda reducerii succesive, algoritmii de calcul rezultînd din schema XV.2.

La întocmirea schemei se au în vedere următoarele relaţii de control:

$$[bb.1] + [bc.1] + [bl.1] = [bs.1]$$
$$[cc.2] + [cl.2] = [cs.2] \qquad (1.23)$$

Necunoscutele se obţin în ordine:

$$z = -\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$$

$$y = -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}z - \frac{[bl.1]}{[bb.1]}$$

$$x = -\frac{[ab]}{[aa]}y - \frac{[ac]}{[aa]}z - \frac{[al]}{[aa]} \qquad (1.24)$$

Pentru a stabili erorile m_x, m_y, m_z ale valorilor probabile x, y, z, se calculează mai întîi eroarea medie pătratică a unei singure observaţii cu relaţia:

$$m_0 = \pm\sqrt{\frac{[VV]}{n-k}} \qquad (1.25)$$

în care:

— $[VV] = [ll.2]$ şi se calculează prin dezvoltarea în partea inferioară a schemei de reducere; n este numărul de ecuaţii; k este numărul de necunoscute.

Cu valoarea obţinută cu (1.25) se obţine în continuare:

$$m_x = \pm m_0\sqrt{Q_{xx}}; \qquad m_y = \pm m_0\sqrt{Q_{yy}}; \qquad m_z = \pm m_z\sqrt{Q_{zz}} \qquad (1.26)$$

Q_{xx}, Q_{yy}, Q_{zz} sînt coeficienţii de ponderare care se calculează în coloane adăugate la schema de reducere.

În cazul unei funcţii de mărimi măsurate indirect de forma:

$$F = A_1x + A_2y + A_3z \qquad (1.27)$$

eroarea este dată de relaţia :

$$m_F = \pm m_0 \sqrt{Q_{FF}} \tag{1.28}$$

Coeficientul de pondere Q_{FF} se obţine similar cu cei din (1.26).

1.5. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Caracteristic în această categorie de măsurători este că ele au erori diferite, deci ecuaţiilor din sistemul de erori (1.20) le corespund ponderile p_i.

Condiţia de minim aplicată sistemului este $[p\,VV]$ = minim, în baza căreia sistemul de ecuaţii normale are forma :

$$\begin{aligned} [p\,aa]\,x + [p\,ab]y + [p\,ac]\,z + [p\,al] &= 0 \\ [p\,bb]\,y + [p\,bc]z + [p\,bl] &= 0 \\ [p\,cc]z + [p\,cl] &= 0 \end{aligned} \tag{1.29}$$

Rezolvarea sistemului (1.29) şi calculul preciziilor au loc ca şi în cazul măsurătorilor indirecte de aceeaşi precizie.

1.6. MĂSURĂTORI CONDIŢIONATE DE ACEEAŞI PRECIZIE

În general, măsurătorile directe cu condiţii conduc la un sistem de ecuaţii liniare în care numărul necunoscutelor este mai mare decît numărul ecuaţiilor.

Forma unui astfel de sistem este :

$$\begin{aligned} a_1V_1 + a_2\,V_2 + \ldots + a_n\,V_n + \omega_1 &= 0 \\ b_1\,V_1 + b_2\,V_2 + \ldots + b_nV_n + \omega_2 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ r_1\,V_1 + n_2\,V_2 + \ldots + r_nV_n + \omega_r &= 0 \end{aligned} \tag{1.30}$$

în care : $V_1, V_2, \ldots, V_n$ sînt corecţiile mărimilor măsurate direct.

Dacă precizia de măsurare nu diferă de la o mărime măsurată la alta, măsurătorile condiţionate sînt de aceeaşi precizie, iar sistemul (1.30) se rezolvă în baza condiţiei $[VV]$ = = minim.

Se obţine sistemul de ecuaţii normale :

$$\begin{aligned} [aa]\,k_1 + [ab]\,k_2 + \ldots + [ar]k_r + \omega_1 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ [ar]\,k_1 + [br]\,k_2 + \ldots + [rr]\,k_r + \omega_r &= 0 \end{aligned} \tag{1.31}$$

în care : $k_1, k_2, \ldots, k_r$ sînt valori intermediare de calcul (corelate) şi cu care se determină corecţiile.

Relaţiile de calcul ale corecţiilor au forma :

$$V_i = a_ik_1 + b_i\,k_2 + \ldots + r_i\,k_r$$

$$(i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.32}$$

Calculul coeficienţilor din sistemul (1.31) şi rezolvarea sistemului cu determinarea corelatelor se efectuează cu scheme analoage schemelor XV.1 şi XV.2.

Pentru determinarea erorii medii pătratice a unei singure măsurători se utilizează relaţia :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{r}} \tag{1.33}$$

în care r este numărul ecuaţiilor de condiţie.

1.7. MĂSURĂTORI CONDIŢIONATE DE PRECIZII DIFERITE

Această categorie de măsurători se caracterizează prin aceea că mărimile măsurate direct şi supuse la condiţii au erori diferite şi deci ponderi diferite.

Sistemul ecuaţiilor de erori (1.30) ce corespunde măsurătorilor condiţionate, în general, se rezolvă ataşîndu-i condţia :

$$[p\,VV] = \text{minim}$$

Se obţine :

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p}\right] k_1 + \left[\frac{ab}{p}\right] k_2 + \ldots + \left[\frac{ar}{p}\right] k_r + \omega_1 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \left[\frac{ar}{p}\right] k_1 + \left[\frac{br}{p}\right] k_2 + \ldots + \left[\frac{rr}{p}\right] k_r + \omega_r &= 0 \end{aligned} \tag{1.34}$$

Cu valorile corelatelor din (1.34) se calculează corecţiile folosind relaţiile :

$$V_i = \frac{1}{p_i}\,(a_ik_1 + b_ik_2 + \ldots + r_ik_r)$$

$$(i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.35}$$

Eroarea medie pătratică a unei singure măsurători se stabileşte cu relaţia :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p\,VV]}{r}} \tag{1.36}$$

2. MĂSURAREA MĂRIMILOR TOPOGRAFICE

2.1. MĂSURAREA UNGHIURILOR

2.1.1. INSTRUMENTE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR

Pentru măsurarea unghiurilor în geodezie şi topografie se folosesc aparate numite *teodolite*. Cu ajutorul teodolitelor se pot măsura atît unghiuri orizontale cît şi unghiuri verticale. Principiile constructive ale acestor aparate au la bază modul de definire a unghiurilor orizontale şi verticale de diferite direcţii din spaţiu. Fie, în acest sens, punctul O din care se fac observaţii către punctele P_1 şi P_2 (fig. XV.1). Normala punctului O, împreună cu punctul P_1 determină planul vertical V_1, iar aceeaşi normală împreună cu punctul P_2 determină planul vertical V_2. Evident, că linia de intersecţie O_1O_2 a planelor verticale este însăşi normala punctului O.

Unghiul orizontal α, determinat de direcţiile OP_1 şi OP_2, este unghiul diedru format de cele două plane verticale, sau unghiul format de proiecţiile direcţiilor (OP_1' şi OP_2') pe planul orizontal H. Unghiurile verticale φ_1 şi φ_2 ale celor două direcţii sînt unghiurile pe care direcţiile le fac cu proiecţiile lor pe planul H. Complementele unghiurilor verticale sînt unghiurile zenitale şi se notează cu Z_1 şi Z_2.

Aşadar, orice teodolit prin construcţie are posibilitatea materializării într-un punct O, a planului orizontal H, verticalei O_1O_2, direcţiilor OP_1 şi OP_2; de asemenea, are posibilitatea măsurării unghiurilor verticale şi a unghiului orizontal.

Există o gamă foarte largă de tipuri de aparate construite de diferite firme şi care au diferite caracteristici.

O frecventă utilizare la noi în ţară o are teodolitul *Zeiss Theo 0-10*. Este un aparat de precizie folosit pentru toate lucrările geodezo-topografice la care se admite o eroare medie pătratică de pînă la $\pm 4^{sec}$ pentru o direcţie măsurată o singură dată în cele două poziţii ale lunetei.

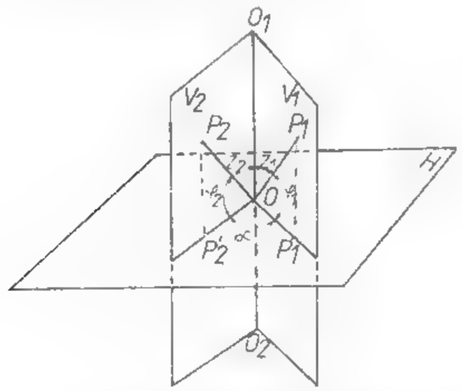


Fig. XV.1. Principiul măsurării unghiurilor orizontale şi verticale.

Domeniul de utilizare este în triangulaţiile de ordinul II—V, poligonaţii, lucrări de trasare în condiţii de suprafaţă sau de subteran. Pentru efectuarea lecturilor la cercul orizontal şi vertical se foloseşte un microscop cu micrometru optic.

Părţile componente ale aparatului (fig. XV.2) sînt: *1* — lunetă; *2* — clemă de blocare a mişcării lunetei; *3* — tamburul micrometrului optic; *4* — şurub micrometric al mişcării lunetei; *5* — şurub micrometric al mişcării aparatului în jurul axului principal V—V; *6* — şurub de calare; *7* — placă de tensiune; *8* — placă de bază; *9* — şurub de fixare a aparatului în ambază; *10* — clemă de blocare a mişcării de rotaţie în jurul axului principal V—V; *11*—nivelă sferică; *12*—inversor de imagini; *13*—nivelă torică; *14*—ocularul microscopului de citire; *15* — ocularul lunetei; *16* — manşon de focusare; *17* — prismă de observare a nivelei cercului vertical; *18* — colimator; *19* — cercul orizontal; *20*—cercul vertical.

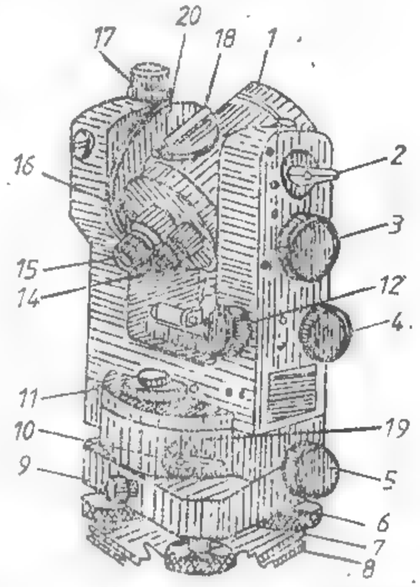


Fig. XV.2. Părţile componente ale unui teodolit.

2.1.2. METODE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR ORIZONTALE

Metoda simplă. Pentru măsurarea unghiului α definit de direcţiile $O1$ şi $O2$ (fig. XV.3) se staţionează în punctul 0, se vizează punctul *1* şi se înregistrează lectura C_1. Se roteşte aparatul în sens topografic (sensul acelor de ceasornic) şi se vizează punctul *2*, înregistrîndu-se lectura C_2. Aceste două lecturi se obţin în poziţia I-ii a lunetei (cercul vertical în stînga).

În poziţia II-a (cercul vertical în dreapta) se vizează punctul *2* şi se înregistrează lectura C_2', se roteşte aparatul în sens invers celui topografic, se vizează punctul *1* şi se înregistrează lectura C_1'.

Valoarea unghiului

$$\alpha = (C_2) - (C_1) \tag{2.1}$$

unde

$$(C_1) = \frac{C_1 + C_1'}{2} \; ; \; (C_2) = \frac{C_2 + C_2'}{2}$$

Metoda seriilor complete. Pentru măsurarea unghiurilor α, β, γ, δ se fac observaţii din punctul P pe direcţiile P_1, P_2, P_3, P_4 care determină aceste unghiuri (fig. XV.4). Pe direcţia P_1 se înregistrează lectura C_1, iar prin rotirea aparatului în sens topografic lecturile C_2, C_3, C_4 pe direcţiile P_2, P_3, P_4 cu închidere pe direcţia P_1.

Cu mişcarea aparatului în sens invers şi în a doua poziţie a lunetei obţinem lecturile în ordine $\bar{C}_1'$, $\bar{C}_4$, $\bar{C}_3$, $\bar{C}_2$ şi $\bar{C}_1$.

Se stabilesc valorile probabile ale lecturilor pe direcţii, efectuînd media aritmetică a lecturilor astfel:

$$(C_1) = \frac{C_1 + \bar{C}_1}{2} \; ; \; (C_2) = \frac{C_2 + \bar{C}_2}{2} \; ; \; (C_3) = \frac{C_3 + \bar{C}_3}{2} \; ;$$

$$(C_4) = \frac{C_4 + \bar{C}_4}{2} \; ; \; (C_1') = \frac{C_1' + \bar{C}_1'}{2}$$

unde valoarea (C'_1) este utilizată pentru control.

Cu acestea se obţin :

$$\alpha = (C_2) - (C_1); \quad \beta = (C_3) - (C_2); \quad \gamma = (C_4) - (C_3); \quad \delta = (C_1) - (C_4) \qquad (2.2)$$

Observaţiile efectuate prin procedeul descris formează o serie de observaţii. În măsurătorile de precizie, în triangulaţii geodezice, metoda seriilor complete se aplică utilizînd

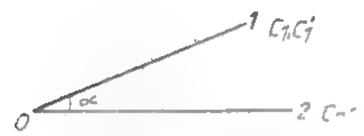


Fig. XV.3. Metoda simplă de măsurare a unui unghi.

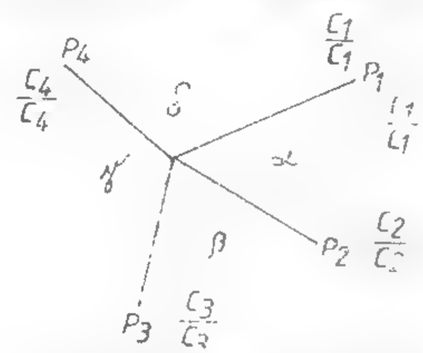


Fig. XV.4. Metoda seriilor complete de măsurarea unghiurilor.

mai multe serii de observaţii (4, 6, 9), în fiecare serie considerînd pentru direcţia P_1 o altă valoare (origine).

2.1.3. MĂSURAREA UNGHIURILOR VERTICALE

Unghiurile verticale se obţin prin lecturi la cercul vertical. Lecturile se efectuează în cele două poziţii ale lunetei, valoarea unghiului fiind media aritmetică a lecturilor.

Dacă lecturile sînt φ_1 şi φ_2 se obţine :

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \qquad (2.3)$$

2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANŢELOR

2.2.1. INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANŢELOR

În funcţie de rezultatele care se obţin în măsurători, pentru măsurarea directă a distanţelor instrumentele se clasifică în :

— instrumente puţin precise, folosite în lucrări preliminare de recunoaştere a terenului sau lucrări expeditive (lanţul cu zale, compasul) ;

— instrumente precise, folosite în mod obişnuit în măsurători topografice (panglica de oţel, ruleta) ;

— instrumente foarte precise, folosite în măsurători geodezice (firul de invar).

Panglica de oţel. Este o bandă de oţel cu lungimea de 20, 25 sau 50 m şi lăţimea 1, 2, 5 cm şi grosimi între 0,5—0,8 mm.

Panglicile au la cele două capete cîte un inel de bronz cu articulaţie, iar lungimea de 20 sau 50 m este cuprinsă între două repere gravate pe aceste inele. Diviziunile metrice sînt indicate prin cifre imprimate pe plăcuţe de aramă. Subdiviziunile decimetrice sînt indicate prin butoni mici de cupru.

Panglicile sînt divizate pe o parte într-un sens, iar pe partea opusă, invers.

Există şi panglici speciale care sînt divizate în centimetri pe toată lungimea, iar la capete sînt scale divizate în milimetri. Accesoriile necesare pentru măsurarea lungimilor cu panglica sînt *bastoanele întinzătoare* care se introduc prin inelele de bronz pentru a întinde panglica pe teren.

Întinderea panglicii se face cu o forţă egală cu forţa de etalonare de 3 daN/mm² de secţiune de panglică, valoare care se poate citi pe un dinamometru intercalat la unul din capete, între panglică şi baston.

Ruleta de oţel. Banda de oţel folosită pentru rulete are secţiunea de 0,2 × 13 mm şi lungimea de 10, 20, 25, 50 m.

Firul de invar. Permite măsurarea distanţelor cu precizia de ordinul 1 : 1 000 000. Are lungimea de 24 m sau de 48 m, materialul din care este confecţionat fiind un aliaj din fier şi nichel, cu un coeficient de dilatare foarte mic.

Pentru măsurarea bazelor se foloseşte trusa de invar, compusă din următoarele piese :

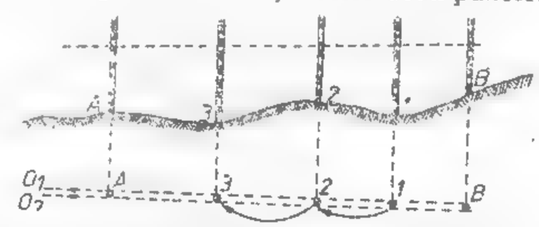
— patru fire de 24 m ;
— 1 fir de 8 m ;
— o panglică de 4 m ;
— două trepiede tensoare care servesc pentru susţinerea firului la întindere uniformă, cu ajutorul a două greutăţi de 10 kg ;
— accesorii : termometru pentru determinarea temperaturii aerului : fir gabarit — un cablu de 24 m — pentru amplasarea trepiedelor cu cap reper la o distanţă de cît mai aproape de 24 m ; miretă pentru determinarea diferenţelor de nivel dintre două repere consecutive.

În timpul măsurării bazei, firul de invar este suspendat astfel ca rigletele gradate să fie în dreptul capetelor reper mobile ale trepiedelor de pe traseu.

2.2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A LUNGIMILOR CU PANGLICA

Măsurarea lungimilor este precedată de *jalonarea şi prichetarea alimentatorului* între cele două puncte. Această operaţie marchează pe teren direcţia celor două puncte.

Fig. XV.5. Trasarea aliniamentului.



Jalonarea se face cu ochiul liber, cu binoclul sau cu un aparat topografic cu lunetă. Jalonarea aliniamentului AB se face prin alinierea jaloanelor *1, 2, 3*, începînd de la punctul B. Alinierea se face vizînd din O_1 şi O_2 în plane tangente verticale, comune la toate jaloanele aşezate succesiv pe direcţia AB (fig. XV.5.).

2.2.3. CORECŢII APLICATE LUNGIMILOR MĂSURATE CU BENZI DE OŢEL

Corecţia de etalonare ΔL_k. La determinarea aceste corecţii se ţine seama de diferenţa dintre lungimea normală l_n a panglicii şi lungimea reală l_R, cunoscută de la etalonare.

Corecţia pentru oo lungime se calculează cu relaţia :

$$\Delta l_k = l_R - l_n$$

Corecţia pentru întreaga lungime măsurată L va fi :

$$\Delta L_k = \frac{\Delta l_k \cdot L}{l_n} = \Delta l_k \cdot n$$

$n = L/l$ şi reprezintă numărul de panglici cuprinse în lungimea respectivă.

Corecţia de tensiune sau de întindere (ΔL_p). Benzile de oţel fiind elastice, lungimea lor variază în funcţie de forţa de întindere în timpul măsurării. Această corecţie nu se aplică atunci cînd în timpul măsurării panglica se întinde cu aceeaşi forţă ca la etalonare, folosind dinamometrul.

Corecţia de temperatură (ΔL_t). Datorită temperaturii din timpul măsurării, t°, diferită de cea de la etalonare, t_0°, lungimea l_t a panglicii va fi :

$$l_t = l\,[1 + \alpha\,(t^\circ - t_0^\circ)]$$

unde : l este lungimea panglicii ; α — coeficientul de dilataţie termică a oţelului ; $\alpha = 0{,}0115$ mm/i°.

Corecţia de temperatură pentru o lungime de panglică va fi :

$$\Delta l_t = l_t - l = l\ \alpha\,(t^\circ - t_0^\circ)$$

Pentru o panglică de oţel de 50 m, corecţia de temperatură se calculează :

$$\Delta l_t = 50 \cdot 0{,}0115 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) = 0{,}575 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ)$$

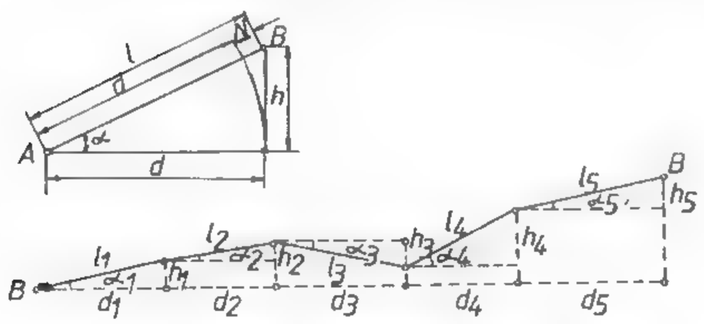


Fig. XV.6. Reducerea la orizont a distanţelor.

Pentru o lungime oarecare măsurată, corecţia de temperatură va fi :

$$\Delta L_t = 0{,}6 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) \cdot \frac{L}{l}$$

Corecţia de reducere la orizont (ΔL_0). Pe teren se măsoară distanţele înclinate între punctele topografice. Aceste distanţe se vor reduce la orizont, determinîndu-se valoarea lor orizontală (fig. XV.6.)

$$d = l \cos . \alpha = \sqrt{l^2 - h^2}$$

Corecţia de reducere la orizont este

$$\Delta L_0 = d - l$$

2.3. MĂSURAREA INDIRECTĂ A DISTANŢELOR

Măsurarea distanţelor reprezintă un volum mare al lucrărilor topografice pe teren, iar măsurarea directă a distanţelor cu benzile şi firele de oţel este dificilă sau chiar imposibilă în terenurile cu relief accidentat, peste ape, pe şantierele de construcţii şi în localităţi. Măsurarea optică, electrooptică şi electromagnetică a distanţelor este metoda cea mai indicată în asemenea situaţii şi, în plus, este mult mai rapidă decît măsurarea directă a distanţelor în condiţiile asigurării aceleiaşi precizii.

2.3.1. METODA OPTICĂ

Utilizează ca aparatură *teodolitele tahimetre*, care sînt teodolite obişnuite ce au marcate pe placa firelor reticulare fire stadimetrice.

Un asemenea aparat se staţionează într-unul din capetele distanţei, iar la celălalt capăt se aşază în poziţie verticală o miră gradată către care se fac observaţii (fig. XV.7).

Cu observaţiile efectuate în dreptul firelor stadimetrice, pe mira gradată, notate cu L_1 şi L_2, se poate obţine indirect distanţa scriind :

$$D = 100\,(L_1 - L_2)\cos^2\varphi$$

unde φ este unghiul citit la cercul vertical.

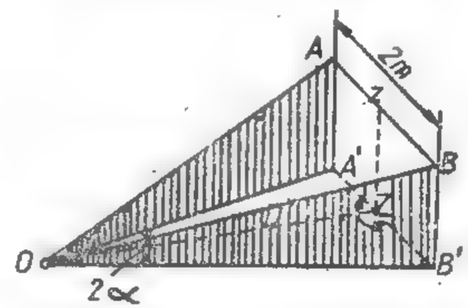


Fig. XV.7. Măsurarea tahimetrică a distanţelor.

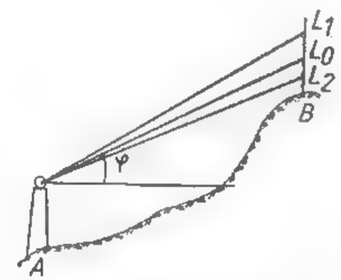


Fig. XV.8. Măsurarea distanţelor cu miră orizontală.

Este simplu de observat că atunci cînd $\varphi = 0$, deci linia de observaţie este orizontală (cazul terenurilor orizontale), $\cos^2\varphi = 1$ şi :

$$D = 100\,(L_1 - L_2)$$

În obţinerea indirectă a distanţelor pe cale optică, pot fi folosite aparate care nu au firele stadimetrice. Este nevoie însă ca în locul mirei verticale să fie folosită o miră orizontală (realizată în acest scop), numită *miră de invar*, cu o lungime fixă de 2 m (fig. XV.8).

Distanţa în acest caz rezultă ca fiind :

$$D = \text{ctg}\ \alpha$$

unde α este unghiul orizontal format de direcţiile ce pornesc din punctul de staţie către punctele marcate la extremităţile mirei oritzontale.

De menţionat, că mira de invar prin construcţie poate fi aşezată orizontal şi perpendicular pe linia de observaţie.

În scopul simplificării în mai mare măsură a măsurătorilor de distanţe, au fost construite aparate numite *tahimetre autoreductoare*, prevăzute cu dispozitive speciale, care dau direct distanţele reduse la orizont. Astfel există *tahimetre autoreductoare cu diagramă* (Dahlta 020, Kern DK-RV şi Wild RDS), *tahimetre autoreductoare cu dublă imagine* (Redta 02), *tahimetre telemtre* (teletop).

2.3.2. MĂSURAREA ELECTROOPTICĂ ŞI ELECTROMAGNETICĂ A DISTANŢELOR

După *frecvenţa semnalului pe care îl emite*, aparatura electromagnetică şi electrooptică se împarte în :

1) telemetre electrooptice, care lucrează în gama undelor luminoase ;

2) radiotelemetre care lucrează în gama undelor radio.

După *metoda de măsurare*, se împart în :

1) telemetre cu impulsuri ;

2) telemetre fazice.

Atît telemetrele electrooptice cît şi radiotelemetrele funcţioncază pe principiul măsurării timpului de propagare a undelor electromagnetice de-a lungul distanţei care se măsoară.

În funcţie de timpul parcurs dus şi întors între cele 2 extremităţi, se determină distanţa de măsurat.

Aceste aparate se mai numesc şi *geodimetre*.

În această categorie se poate aminti *geodimetrul* NASN-6 care se compune din aparatul propriu-zis, ce constituie s t a ţ i a d e m ă s u r a r e sau emiţătoare şi reflectorul sau s t a ţ i a r e f l e c t o a r e, instalate fiecare în capetele distanţei de măsurat.

Distanţa măsurată înclinată se determină cu formula :

$$D = [\varphi : (4\pi \cdot f)] \cdot C_0$$

în care : φ este diferenţa de fază ; f — frecvenţa undei ; C_0 — viteza de propagare în vid a luminii.

$$\varphi = 2\pi f t$$

unde t este timpul înregistrat pentru parcurgerea distanţei dus şi întors de către lumină ;

$$C_0 = 299\ 792{,}5 \text{ km/s.}$$

La valoarea D se adaugă corecţii meteorologice din timpul măsurării distanţei.

2.4. INSTRUMENTE DE MĂSURARE DIRECTĂ A ÎNĂLŢIMILOR

Aceste instrumente folosesc la determinarea diferenţelor de nivel dintre puncte sau la trasarea pe teren a unei cote. Se împart în două categorii :

— instrumente de nivelment geometric simple (fără lunetă) ;

— instrumente de nivelment geometric cu lunetă.

În categoria instrumentelor simple de nivelment geometric sînt :

— nivela cu tub de cauciuc şi lata de nivelment.

2.4.1. INSTRUMENTE DE NIVELMENT GEOMETRIC CU LUNETĂ

După modul cum se realizează orizontalizarea axei de vizare, aceste instrumente pot fi grupate în :

— instrumente de nivelment geometric clasice ;

— instrumente de nivelment geometric cu compensator.

Nivelele clasice se compun, în general, din următoarele părţi principale (fig. XV.9) :

— ambaza, *1*, formată din suport şi şuruburile de calare *2*, axul vertical şi alidadă, luneta *3* şi nivela torică *5*.

Nivela cu lunetă are 3 axe :

— VV' — este axa de rotaţie în jurul căreia se roteşte suportul lunetei împreună cu luneta ;

— OO' — axa de vizare a lunetei determinată de intersecţia firelor reticulare şi centrul optic al obiectivului, axă ce trebuie să fie oirizontală ;

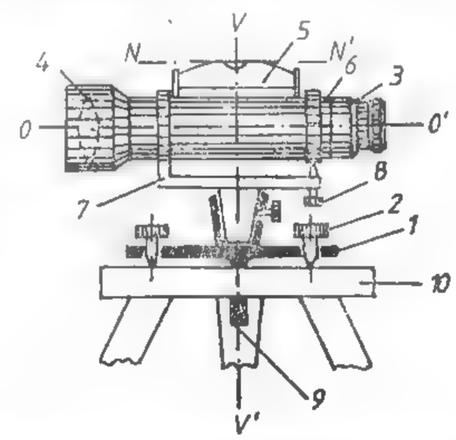


Fig. XV.9. Părţile principale ale unei nivele :
1 — ambază ; *2* — şurub de calare ; *3* — lunetă ; *4* — obiectivul lunetei ; *5* — nivela de calare ; *6* — reticul ; *7* — traversă ; *8* — şurub de elevaţie ; *9* — şurub pompă ; *10* — trepied.

— NN' — axa sau directricea nivelei torice care trebuie să fie şi ea orizontală.

Mişcările nivelei cu lunetă se referă la :

— mişcarea lunetei în jurul axei VV'

— mişcarea în plan vertical realizată cu şurubul de fină mişcare în vederea calării nivelei torice la fiecare viză.

Instrumentele de nivelment rigide cele mai răspîndite la noi în ţară sînt aparatele firmei *Zeiss-Jena* (Ni-030 ; Ni-004).

Nivela Zeiss Ni 030 poate realiza o eroare medie patratică de ± 2 mm la ± 3 mm/km de dublu nivelment. Precizia de măsurare cu aparatul poate fi mărită dacă se folosește un micrometru optic de obiectiv cu placă plan-paralelă și mire speciale de invar.

În acest caz, se poate obține o eroare medie pătratică de ± 0,8 mm/km de dublu nivelment.

Nivela Ni 004 se deosebește în principal de Ni 030 prin aceea că micrometrul optic este incorporat în lunetă, iar coincidența bulei nivelei torice se observă direct în cîmpul lunetei. Precizia lui este de 0,4 mm/km de dublu nivelment.

2.4.2. INSTRUMENTE DE NIVELMENT CU COMPENSATOR

Nivelele compensatoare sau automate simplifică procesul de măsurare, ducînd la sporirea randamentului lucrărilor de teren. Aceste instrumente de nivelment nu mai au nivelă torică pentru orizontalizarea axei de vizare, aceasta realizîndu-se automat cu ajutorul unui compensator, după ce în prealabil aparatul a fost calat aproximativ cu nivela sferică.

După modul de construcție, compensatoarele pot fi:

— cu pendul;

— cu nivelă;

— cu lichid.

Instrumentele de nivelment cu compensator folosite în țara noastră sînt Ni 007 și Ni 025.

Nivela automată Zeiss — Ni 007 este o nivelă de precizie care dă o eroare medie pătratică de ± 0,5 la 0,8 mm/km de dublu nivelment, atunci cînd citirile se efectuează pe mire cu benzi de invar. Compensatorul are un domeniu de basculare $\alpha = \pm 10''$.

3. LUCRĂRI TOPOGRAFICE LA SUPRAFAȚĂ

3.1. ELEMENTE DE GEODEZIE ȘI CARTOGRAFIE

3.1.1. FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI

Forma generală a Pămîntului este de geoid, definit prin suprafața mărilor deschise și oceanelor în starea lor de echilibru.

Caracteristica principală a suprafeței geoidului constă în aceea că în fiecare punct al său este normală la direcția forței gravitaționale. Cum însă forțele gravitaționale sînt foarte diferite, în diferite puncte ale suprafeței terestre, din cauza constituției neomogene a maselor din interiorul Pămîntului, rezultă, că este foarte dificil, aproape imposibil, a exprima matematic suprafața geoidului. S-a ajuns la concluzia, că suprafața care poate fi ușor exprimată matematic și este foarte apropiată de geoid este suprafața unui elipsoid

de rotație. Pe baza acestor precizări, secționînd suprafața terestră cu un plan vertical (fig. XV.10) se disting: suprafața topografică (*1*), suprafața geoidului (*2*) și suprafața elipsoidului (*3*).

Dimensiunile Pămîntului sînt în principal dimensiunile elipsoidului, sau ale elipsei care-l generează.

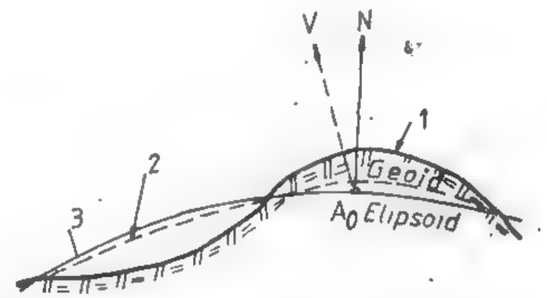


Fig. XV.10. Secțiune prin suprafața terestră.

Preocupările existente la diferite perioade de timp au condus la stabilirea diferitelor valori ale elipsoidului terestru mai mult sau mai puțin apropiate de adevăr, funcție de tehnica de măsurare și mijloacele de calcul cunoscute la acea vreme.

Tabelul XV.1

Dimensiunile elipsoidului de rotație

Autorul	Anul	Semiaxa mare	Turtirea
Bessel	1841	6 377 397	1: 299,15
Clarke	1880	6 378 249	1: 293,5
Helmert	1906	6 378 140	1: 298,3
Hayford	1909	6 378 388	1: 297,0
Krasovski	1940	6 378 245	1: 298,3

În tabelul XV.1 sînt indicați autorii și rezultatele lor cu privire la semiaxele elipsei care generează elipsoidul terestru.

3.1.2. SUPRAFEȚE DE REFERINȚĂ

Pentru reprezentarea suprafeței Pămîntului cu neregularitățile pronunțate pe care le prezintă se stabilesc anumite legi sau convenții, astfel încît imaginea obținută să fie cît mai apropiată de realitate.

Astfel, funcție de extinderea suprafețelor care se reprezintă și de natura ridicărilor geodezice și topografice, se pot folosi diferite suprafețe de referință:

— *suprafața geoidului* — folosită pentru ridicările nivelitice, acestea constituind suprafața de nivel zero;

— *suprafața elipsoidului* — folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafețe mari.

Un punct P de pe suprafaţa fizică a Pămîntului este proiectat în P' pe suprafaţa elipsoidului cu ajutorul normalei N la această suprafaţă (fig. XV.11).

În acest fel toate punctele primcipale (care formează reţelele geodezice de sprijin) sînt trecute de pe suprafaţa fizică a Pămîntului pe suprafaţa elipsoidului de referinţă.

Suprafaţa sferei de rază medie, folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafeţe mici. Se poate demonstra că suprafaţa elipsoidului de referinţă poate fi înlo-

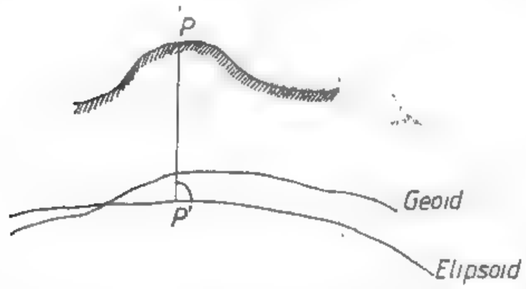


Fig. XV.11. Proiectarea unui punct pe suprafaţa elipsoidului.

cuită cu suprafaţa unei sfere a cărei rază este $R = \sqrt{MN}$, calculată în funcţie de latitudinea punctului situat în centrul teritoriului considerat.

Raza sferei reprezintă o rază medie de curbură, iar M şi N sînt razele principale de curbură respectiv: M — raza de curbură a curbei meridiane, N — raza de curbură a normalei la meridian în punctul în care se calculează.

Suprafaţa plană. Calculele pe suprafaţa elipsoidului şi chiar pe suprafaţa sferei de rază medie sînt voluminoase şi destul de dificile. Acestea pot fi însă simplificate prin adoptarea unei suprafeţe plane, care corespunde cu un anumit sistem de reprezentare sau de proiecţie.

În ţara noastră sînt folosite în prezent două sisteme de reprezentare: *sistemul cilindric-transversal* sau *Gauss-Krüger* şi *sistemul stereografic cu plan secant*.

Corespunzător cu aceste sisteme de reprezentare se obţin coordonatele plane rectangulare *Gauss-Krüger* sau coordonatele plane stereografice.

3.1.3. COORDONATE PLANE GAUSS-KRÜGER

Proiecţia cilindrică transversală aparţine proiecţiilor cilindrice conforme, adică păstrează nedeformate unghiurile.

În proiecţia cilindrică transversală întreaga suprafaţă a globului terestru sau o anumită porţiune din aceasta este reprezentată pe suprafaţa desfăşurabilă a unui cilindru a cărui axă face cu axa polilor un unghi de 90 (fig. XV.12).

Se observă că cilindrul este tangent la ecuator numai în două puncte, şi anume în acelea care aparţin cercului mare format de meridianul PMP.

De altfel acest cerc este linia de contact a cilindrului cu suprafaţa terestră şi care în proiecţie rămîne nedeformat.

Lungimile situate în stînga sau în dreapta meridianului de tangentă, în proiecţie, se deformează, deformaţiile fiind cu atît mai mari cu cît acestea sînt situate mai departe faţă de meridian. Pentru acest motiv, în proiecţia cilindrică reprezentarea suprafeţelor

se face pe zone de 6° diferenţă de longitudine, respectîndu-se în acest mod limita maximă admisibilă a deformărilor de lungimi de 1/2500.

Pentru ca totuşi întreaga suprafaţă a globului terestru să poată fi reprezentată în planul obţinut prin desfăşurarea cilindrului după una din generatoarele sale, se va împărţi suprafaţa în zone limitate de meridiane cu diferenţe de longitudine de 6°, urmînd ca în continuare, printr-o mişcare imaginară a globului, să se considere cilindrul de pro-

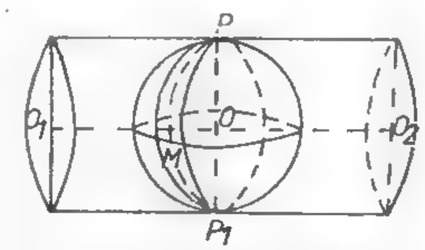


Fig. XV.12. Reprezentarea cilindrică transversală.

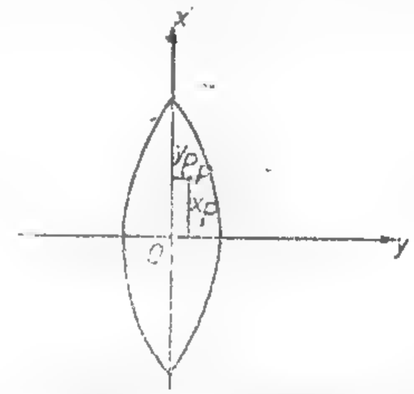


Fig. XV.13. Coordonatele unui punct în proiecţie cilindrică.

iecţie tangent la meridianul axial al fiecărei zone. Vor exista în total 60 de zone, care se numesc *fuse*, iar fiecare din acestea va fi împărţit în două părţi egale de către meridianul axial ce îl străbate în lungime.

Proiecţia cilindrică transversală foloseşte, pentru reprezentarea suprafeţei, sisteme de coordonate rectangulare specifice fiecărui fus, respectiv oricare din cele 60 de fuse va avea originea şi sistemul său de coordonate.

Axele de coordonate sînt dispuse astfel:

ox — pe direcţia meridianului axial;

oy — pe direcţia ecuatorului.

Întrucît faţă de aceste axe diferite puncte care aparţin fusului ce se reprezintă pot avea coordonate negative, s-a convenit ca originea axelor să aibă coordonatele: $x = 0{,}000$ km; $y = 500\,000$ km.

În acest fel citirea coordonatelor unui punct dintr-un fus oarecare se face după cum urmează:

— abscisa x se citeşte potrivit rezultatelor obţinute din calcul;

— ordonata y se citeşte potrivit rezultatului obţinut din calcul, la care se adaugă 500 km (dacă punctul este situat în dreapta meridianului axial) sau se scade din 500 km (dacă punctul este situat în stînga meridianului axial). Pentru a indica şi numărul fusului în care se află punctul, se adaugă în faţa ordonatei numărul fusului faţă de meridianul Greenwich.

Exemplu. Punctul P situat în dreapta meridianului axial (fig. XV.13) de coordonate: $x_p = 5\,293\,625{,}43$ m; $y_p = 5\,504\,423{,}21$ m se află în fusul 5, la o depărtare de 5 293 625,43 faţă de ecuator şi de (504 423,21 — 500 000) = 4 423,21 m faţă de meridianul axial, această din urmă distanţă considerată în dreapta meridianului axial.

3.1.4. COORDONATE PLANE STEREOGRAFICE

În proiecţia stereografică, o porţiune oarecare din suprafaţa terestră se reprezintă pe un plan de reprezentare după legile perspectivei liniare.

Funcţie de poziţia planului în raport cu suprafaţa terestră se disting :

— proiecţia stereografică cu plan tangent, atunci cînd planul de reprezentare este tangent la suprafaţa terestră în punctul central al porţiunii de suprafaţă care se reprezintă :

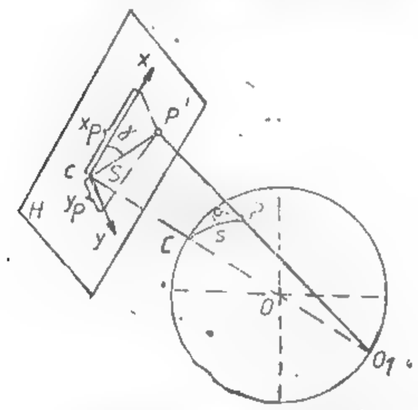


Fig. XV14. Proiecţia stereografică.

— proiecţia stereografică cu plan secant, atunci cînd planul de reprezentare este secant la suprafaţa terestră.

Dacă se urmăreşte reprezentarea grafică (fig. XV.14), se pot preciza elementele geometrice de bază ale proiecţiei stereografice cu plan tangent. Astfel sînt :

C — punctul central al porţiunii de suprafaţă care se reprezintă (pentru ţara noastră $\varphi_c = 46°$, $\lambda_c = 25°$) ;

H — planul de reprezentare ;

P — un punct oarecare, ce aparţine porţiunii de suprafaţă care se reprezintă ;

O_1 — punctul de vedere, diametral opus punctului C şi din care pornesc razele de proiecţie ;

P' — imaginea punctului P în planul de reprezentare ;

s şi α — elementele geodezice cu care se defineşte pe suprafaţa terestră poziţia punctului P faţă de sistemul de referinţă format din punctul C şi meridianul geografic ce trece prin acest punct ;

S şi α — elementele plane cu care se defineşte poziţia punctului P' faţă de sistemul de referinţă xcy, orientat în aşa fel încît axa x-ilor coincide cu direcţia meridianului punctului C, iar axa y-ilor coincide cu direcţia paralelului punctului C.

Elementele geometrice de bază se definesc în mod similar şi pentru proiecţia stereografică cu plan secant.

Pentru ca toate punctele situate pe teritoriul ţării noastre să posede coordonate pozitive, sistemul de coordonate este translatat astfel încît originea are coordonatele :

$$x = 500{,}000 \text{ km} ; \; y = 500{,}000 \text{ km}.$$

Proiecţia stereografică este ca şi proiecţia cilindrică transversală conformă, însă calitativ superioară în sensul că deformaţiile liniare sînt mult mai mici.

Observaţie. În scopul reducerii deformaţiilor liniare şi creşterii calităţii documentelor topografice, în bazinele miniere dezvoltate pe suprafeţe mari se folosesc sisteme de proiecţie locale (sistemul minier). Aceste sisteme independente iniţial, dar ulterior racordate la sistemul de proiecţie naţional, sînt similare cu sistemul stereografic de proiecţie. Punctul central de proiecţie este situat în centrul bazinului minier, poziţia planului de proiecţie este la nivelul mediu al lucrărilor miniere subterane.

3.2. TRIANGULAŢIA

Triangulaţia reprezintă o metodă de determinare a poziţiei punctelor de pe suprafaţa Pămîntului pe una din suprafeţele de referinţă adoptată.

Poziţiile punctelor pe suprafaţa de referinţă se stabilesc prin coordonatele lor geografice dacă suprafaţa este elipsoidală sau sferică, respectiv rectangulare dacă suprafaţa de referinţă este plană.

Totalitatea punctelor situate pe suprafaţa terestră pentru care se cunosc coordonatele într-un anumit sistem formează *reţeaua geodezică de sprijin*.

Pe această reţea de sprijin se dezvoltă în continuare lucrările topografice şi fotogrammetrice necesare în realizarea planurilor topografice de la suprafaţă şi în continuare cele din subteran.

3.2.1. REŢEAUA DE TRANGULAŢIE DE STAT

Reţeaua geodezică de sprijin este formată din totalitatea punctelor de trangulaţie existente pe teritoriul ţării şi constituie *reţeaua de trangulaţie de stat*. Aceasta este împărţită în reţele de trangulaţie de diferite ordine, care diferă în primul rînd prin lungimea laturilor figurilor geometrice din care sînt formate. Astfel sînt formate reţelele de triangulaţie de ordinul : I, II, III, IV, V.

Lungimile medii şi mărimile ce corespund acestor ordine sînt cuprinse în tabelul XV.2.

Tabelul XV.2

Ordinul punctelor geodezice

Ordinul de triangulaţie	Lungimea medie a laturii [km]	Lungimea minimă a laiturii [km]
I	20—25	10
II	13	7
III	8	5,5
IV	4	2
V	2	1

3.2.2. REALIZAREA REŢELEI DE TRIANGULAŢIE DE STAT

Principiul în realizarea reţelei de triangulaţie de stat este de la superior către inferior. Conform acestui principiu s-a realizat mai întîi reţeaua de triangulaţie de ordinul I şi în continuare, cu sprijin pe aceasta, reţelele de ordinul II, III, IV şi V. Triangulaţia de ordinul

I s-a realizat sub forma unei reţele compacte (fig. XV.15) de figuri geometrice — în majoritate triunghiuri şi uneori patrulatere cu duble diagonale — şi a fost rezolvată în bloc cu ajutorul tehnicii actuale de calcul.

Reţeaua de triangulaţie de ordinul II constituie o dezvoltare a reţelei de triangulaţie de ordinul I, reţeaua de triangulaţie de ordinul III o dezvoltare a reţelelor de ordinul I şi II şi aşa mai departe. Legăturile între punctele de triangulaţie de diferite ordine se realizează de la simplu la complex (fig. XV.16).

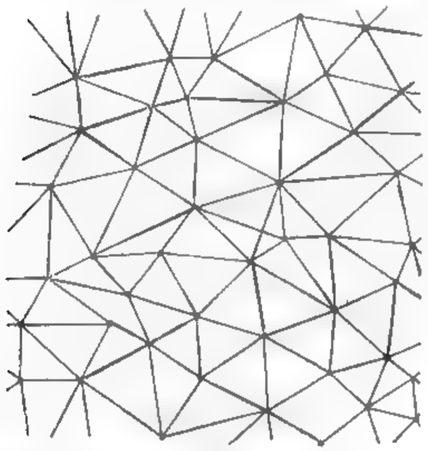


Fig. XV.15. Triangulaţia de ordinul I.

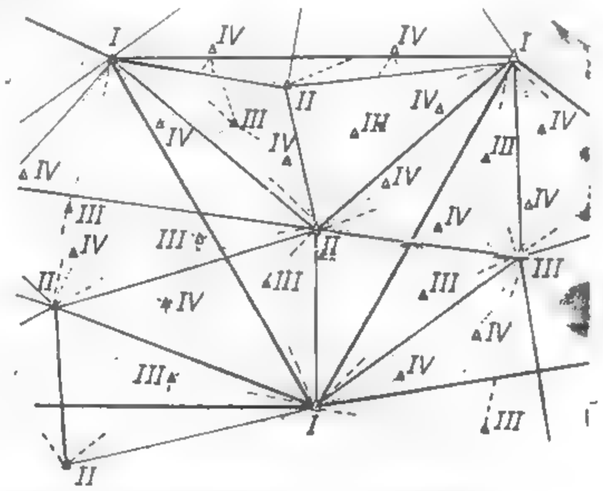


Fig. XV.16. Legătura între punctele de triangulaţie.

Reţelele de triangulaţie de ordinele I, II, şi III formează reţeaua de ordin superior, iar reţelele de triangulaţie de ordinele IV şi V formează reţeaua de ordin inferior.

3.2.3. IMPORTANŢA ŞI CARACTERUL REŢELEI DE TRIANGULAŢIE

Reţeaua de triangulaţie de stat constituie principala reţea de sprijin pentru toate lucrările topografice şi fotogrammetrice precum şi pentru lucrările geodezice de importanţă locală, conform cerinţelor realizării unor obiective economce. Avînd în vedere principiul realizării reţelei de triangulaţie rezultă, că o reţea poate fi independentă sau liberă, dacă conţine un singur grup de elemente cunoscute sau fixe (latură, orientare, coordonatele unui punct), sau poate fi dependentă sau constrînsă dacă conţine mai multe elemente fixe.

În zonele miniere, dat fiind extinderea lor pe suprafeţe mari, există puncte ce aparţin reţelei de triangulaţie de stat. O primă problemă care se pune este legată de dezvoltarea reţelei de triangulaţie de stat cu puncte noi de triangulaţie necesare efectuării lucrărilor de topografie minieră. Avînd în vedere caracterul de instabilitate a suprafeţelor datorită lucrărilor de exploatare minieră, punctele de traingulaţie îşi pot modifica poziţia în timp. De aici, apare o a doua problemă care se referă la verificarea reţelelor de triangulaţie formate de punctele situate în zonele miniere şi folosite ca bază de sprijin în obţinerea punctelor noi. Sînt situaţii cînd verificarea reţelelor de triangulaţie se realizează simultan cu dezvoltarea acestora.

3.2.4. VERIFICAREA REŢELELOR DE TRIANGULAŢIE

În perimetrul bazinului sau exploatării miniere se stabilesc punctele ce aparţin triangulaţiei de stat şi care formează o reţea de triangulaţie, de regulă, de ordinul IV—V.

Aceste puncte cu legături directe între ele conduc la forme geometrice simple care pot fi (fig. XV.17) : poligon cu punct central, patrulatere cu două diagonale, lanţ de triunghiuri, lanţ de patrulatere etc.

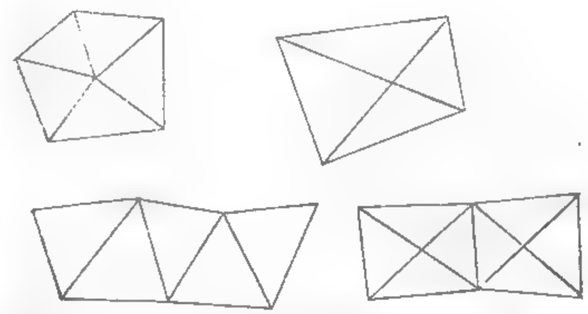


Fig. XV.17. Reţele de triangulaţie — forme.

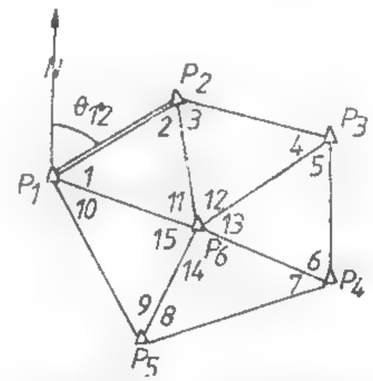


Fig. XV.18. Reţea de triangulaţie de forma unui poligon cu punct central.

Se consideră în continuare punctele de triangulaţie $P_1, P_2, \ldots, P_4$ care formează un poligon cu punct central (fig. XV.18).

Se efectuează în aceste puncte observaţii de direcţii după metoda seriilor complete, din care rezultă unghiurile *1, 2, ..., 15*. Principala operaţie pe care o implică verificarea reţelei de triangulaţie considerată se referă la prelucrarea mărimilor măsurate. Se urmăreşte prin aceasta stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor în baza unor relaţii de condiţii geometrice, impuse de natura şi forma reţelei de triangulaţie.

Astfel, se consideră din totalitatea punctelor, ca fiind cunoscute numai coordonatele punctelor P_1 şi P_2, celelalte urmînd a fi determinate şi deci a fi verificate. Este vorba de o reţea de triangulaţie independentă cu un punct (P_1) de coordonate cunoscute, cu o orientare (θ_{12}) şi o distanţă (P_1P_2) de asemenea cunoscute (calculate din coordonatele punctelor P_1 şi P_2).

Pentru reţelele de triangulaţie independente numărul relaţiilor de condiţii se stabileşte cu expresiile :

$$W_1 = l_1 - p_1 + 1$$

$$W_2 = n_0$$

$$\underline{s = l - 2p + 3}$$

$$r = \omega - 2p + 4 \; (r = W_1 + W_2 + s) \qquad (3.1)$$

S-a notat cu :

W_1 — numărul condiţiilor de figură ; W_2 — numărul condiţiilor de centru ; s — numărul condiţiilor de laturi ; r — numărul total de condiţii ; l_1 — numărul laturilor cu

vize duble; p_1 — numărul punctelor staţionabile; n_0 — numărul punctelor în care sînt măsurate toate unghiurile; p — numărul total de puncte de triangulaţie; ω — numărul total de unghiuri măsurate.

Pentru reţeaua de triangulaţie considerată, rezultă:

$$W_1 = 10 - 6 + 1 = 5$$

$$W_2 = 1$$

$$s = 10 - 2\cdot 6 + 3 = 1$$

$$r = 15 - 2\cdot 6 + 4 = 7 \quad (7 = 5 + 1 + 1) \tag{3.2}$$

Notînd cu (1), (2), ..., (15) valorile probabile ale unghiurilor, poate fi scrisă forma condiţiilor geometrice astfel:

$$(1) + (2) + (11) = 200$$

$$(3) + (4) + (12) = 200$$

$$(5) + (6) + (13) = 200$$

$$(7) + (8) + (14) = 200$$

$$(9) + (10) + (15) = 200$$

$$(11) + (12) + (13) + (14) + (15) = 400$$

$$\frac{\sin(1)\sin(3)\sin(5)\sin(7)\sin(9)}{\sin(2)\sin(4)\sin(6)\sin(8)\sin(10)} = 1 \tag{3.3}$$

Dacă, $V_1, V_2, \ldots, V_1$ sînt corecţiile probabile ale unghiurilor măsurate, putem scrie:

$$(1) = 1 + V_1$$

$$(2) = 2 + V_2$$

$$(15) = 15 + V_{15} \tag{3.4}$$

iar relaţiile (3.3) devin:

$$\begin{aligned}
&V_1 + V_2 + V_{11} + \omega_1 = 0\\
&V_3 + V_4 + V_{12} + \omega_2 = 0\\
&V_5 = V_6 + V_{13} + \omega_3 = 0\\
&V_7 + V_8 + V_{14} + \omega_4 = 0\\
&V_9 + V_{10} + V_{15} + \omega_5 = 0\\
&V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega_6 = 0\\
&d_1V_1 - d_2V_2 + d_3V_3 - d_4V_4 + d_5V_5 - d_6V_6 + d_7d_7 -\\
&\qquad - d_8V_8 + d_9V_9 - d_{10}V_{10} + \omega_7 = 0
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Sistemul (3.5) se numeşte *sistemul ecuaţiilor de erori*, iar termenii liberi şi coeficienţii corecţiilor se obţine astfel:

$$\begin{aligned}
&\omega_1 = 1 + 2 + 11 - 200\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\omega_5 = 9 + 10 + 15 - 200\\
&\omega_6 = 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400\\
&\omega_7 = \sin 1 \sin 3 \ldots \sin 9 - \sin 2 \sin 4 \ldots \sin 10\\
&d_1 = \sin 1 \sin 3 \ldots \sin 9 \frac{\Delta 1}{\sin 1}\\
&d_2 = \sin 2 \sin 4 \ldots \sin 10 \frac{\Delta 2}{\sin 2}\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned} \tag{3.6}$$

$\Delta_1, \Delta_2, \ldots$ sînt diferenţe tabulare din tabelele de funcţii naturale. Utilizînd metodele din *teoria erorilor şi metoda celor mai mici pătrate* sistemul de ecuaţii se transformă în sistemul de ecuaţii normale:

$$\begin{aligned}
&[aa]\,k_1 + [ab]\,k_2 + \ldots + [ag]\,k_7 + \omega_1 = 0\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&[ag]\,k_1 + [bg]\,k_2 + \ldots + [gg]\,k_7 + \omega_7 = 0
\end{aligned} \tag{3.7}$$

$a_1, b_1, \ldots, g$ — sînt coeficienţii corecţiilor din sistemul de ecuaţii (3.5); $k_1, k_2, \ldots, k_7$ — corelate.

Calculul valorilor probabile ale corecţiilor utilizează relaţia:

$$V_i = a_i k_1 + b_i k_2 + \ldots + g_i k_7 \quad (i = 1, 2, \ldots, 15) \tag{3.8}$$

Egalităţile (3.4) conduc în cele din urmă la stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor din reţeaua de triangulaţie.

Cu valorile probabile ale unghiurilor se calculează valorile laturilor reţelei de triangulaţie, orientările laturilor şi coordonatele punctelor.

Pentru aceasta se stabilesc mai întîi orientarea direcţiei P_1P_2 şi mărimea laturii P_1P_2. În acest scop se va scrie:

$$\operatorname{tg}\theta_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{3.9}$$

$$P_1P_2 = \frac{x_2 - x_1}{\cos\theta_{12}} = \frac{y_2 - y_1}{\sin\theta_{12}} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{3.10}$$

Calculul orientărilor laturilor se efectuează pornind de la orientarea laturii P_1P_2, astfel:

$$\begin{aligned}
&\theta_{23} = \theta_{21} - [(2) + (3)] = \theta_{12} - [(2) + (3)] \pm 200\\
&\theta_{34} = \theta_{12} - [(2) + (3) + (4) + (5)] \pm 2\cdot 200\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned} \tag{3.11}$$

De asemenea, pentru calculul laturilor se porneşte de la latura P_1P_2 şi, folosind teorema sinusurilor, se obţine:

$$P_2P_6 = \frac{P_1P_2}{\sin(11)}\sin(1); \qquad P_3P_6 = \frac{P_2P_6}{\sin\ (4)}\sin\ (3) \qquad (3.12)$$

Coordonatele punctelor din reţeaua de triangulaţie se obţin scriind:

$$x_3 = x_2 + P_2P_3\cos\theta_{22}$$

$$y_3 = y_2 + P_2P_3\sin\theta_{23}$$

Valorile coordonatelor obţinute se compară cu valorile coordonatelor determinate prin rezolvarea triangulaţiei de stat şi dacă diferenţele nu sînt mai mari de ± 15 cm, rezultă că punctele nu au avut deplasări în timp. În caz contrar, punctele au fost deplasate, iar coordonatele iniţiale nu mai corespund.

3.2.5. DEZVOLTAREA REŢELELOR DE TRIANGULAŢIE

Prin dezvoltarea reţelelor de triangulaţie se înţelege determinarea de noi puncte, în scopul creşterii densităţii punctelor cunoscute pe o anumită suprafaţă. Printre punctele ce se obţin prin dezvoltarea reţelei de triangulaţie sînt şi punctele situate în apropierea lucrărilor miniere de deschidere şi de la care se transmit elementele topografice (coordonate şi orientări) în subteran.

Pentru dezvoltarea reţelei de triangulaţie se folosesc: *metoda intersecţiilor unghiulare* şi *metoda traseelor poligonale*.

Metoda intersecţiilor unghiulare. Dacă există punctele de triangulaţie P_1 şi P_2 staţionabile şi cu coordonatele cunoscute, se pot determina coordonatele unui alt punct P_0 în situaţia în care există posibilitatea măsurării unghiurilor α şi β (fig. XV.19).

Pentru aceasta se scriu ecuaţiile dreptelor care trec prin punctele P_1 şi P_2 şi au unghiurile de orientare către punctul P_0 cunoscute. Se obţine:

$$y_0 - y_1 = (x_0 - x_1)\,\mathrm{tg}\,\theta_{10}; \qquad y_0 - y_2 = (x_0 - x_2)\,\mathrm{tg}\,\theta_{20} \qquad (3.13)$$

Din sistemul (3.13) rezultă:

$$x_0 = \frac{y_2 - y_1 + x_1\,\mathrm{tg}\,\theta_{10} - x_2\,\mathrm{tg}\,\theta_{20}}{\mathrm{tg}\,\theta_{10} - \mathrm{tg}\,\theta_{20}} \qquad (3.14)$$

$$y_0 = y_1 + (x_0 - x_1)\,\mathrm{tg}\,\theta_{10} = y_2 + (x_0 - x_2)\,\mathrm{tg}\,\theta_{20}$$

Pentru valori mari ale orientărilor se folosesc relaţiile în cotangentă, obţinute similar cu relaţiile (3.14) şi au forma:

$$y_0 = \frac{x_2 - x_1 + y_1\,\mathrm{ctg}\,\theta_{10} - y_2\,\mathrm{ctg}\,\theta_{20}}{\mathrm{ctg}\,\theta_{10} - \mathrm{ctg}\,\theta_{20}} \qquad (3.15)$$

$$x_0 = x_1 + (y_0 - y_1)\,\mathrm{ctg}\,\theta_{10} = x_2 + (y_0 - y_2)\,\mathrm{ctg}\,\theta_{20}$$

Verificarea de teren a coordonatelor punctului P_0 este obligatorie şi constă în aplicarea intersecţiei unghiulare din alte două puncte cunoscute sau dintr-un punct folosit la prima intersecţie (P_1 sau P_2) şi un al treilea punct cunoscut. Diferenţele între coordonatele de acelaşi nume obţinute din cele două intersecţii nu trebuie să fie mai mari de ± 15 cm. Dacă această limită nu este depăşită, valorile definitive se obţin prin medii aritmetice simple.

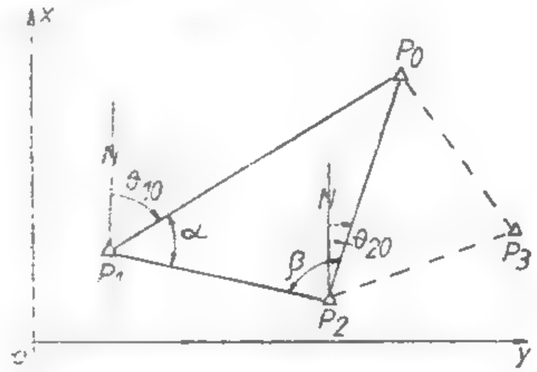


Fig. XV.19. Intersecţia unghiulară.

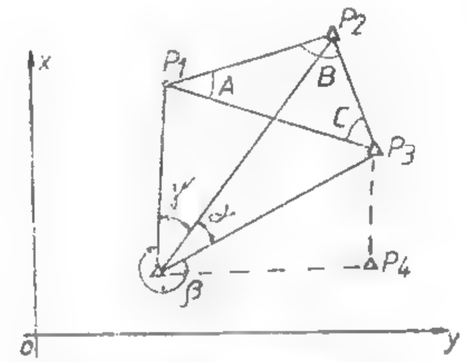


Fig. XV.20. Retrointersecţia.

Coordonatele unui punct P_0 se obţin şi în cazul în care sînt cunoscute coordonatele a trei puncte nestaţionabile P_1, P_2, P_3 şi unghiurile α şi β măsurate în punctul P_0 (fig. XV.20).

Procedeul cel mai simplu de rezolvare utilizează relaţiile:

$$x_0 = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3}{p_1 + p_2 + p_3}; \qquad y_0 = \frac{p_1y_1 + p_2y_2 + p_3xy_3}{p_1 + p_2 + p_3} \qquad (3.16)$$

în care:

$$p_1 = \frac{1}{\mathrm{ctg}\,A - \mathrm{ctg}\,\alpha}; \qquad p_2 = \frac{1}{\mathrm{ctg}\,B - \mathrm{ctg}\,\beta};$$

$$p_3 = \frac{1}{\mathrm{ctg}\,C - \mathrm{ctg}\,\gamma} \qquad (3.17)$$

Se observă, că unghiurile A, B, C se obţin din orientările direcţiilor determinate de punctele cunoscute, iar între notaţii există corespondenţa evidenţiată de figură.

Este obligatoriu a fi efectuată verificarea de teren cu rezolvarea intersecţiei dintr-o altă combinaţie de 3 puncte cunoscute în care cel puţin un punct să fie diferit de primele trei puncte. Valorile definitive ale coordonatelor punctului P_0 se obţin ca în cazul precedent.

Metoda traseelor poligonale. Este metoda prin care se determină coordonatele unor puncte noi pe baza măsurătorilor de unghiuri şi distanţe. Unghiurile şi distanţele sînt elementele geometrice definite de o succesiune de puncte legate între ele sub formă poligonală (fig. XV.21).

Funcţie de numărul şi natura elementelor geodezice cunoscute ca mărimi date (coordonate, orientări), se cunosc mai multe tipuri de trasee poligonale (fig. XV.21) şi anume :

— traseu poligonal cu două puncte fixe şi două orientări fixe (*a*) ;

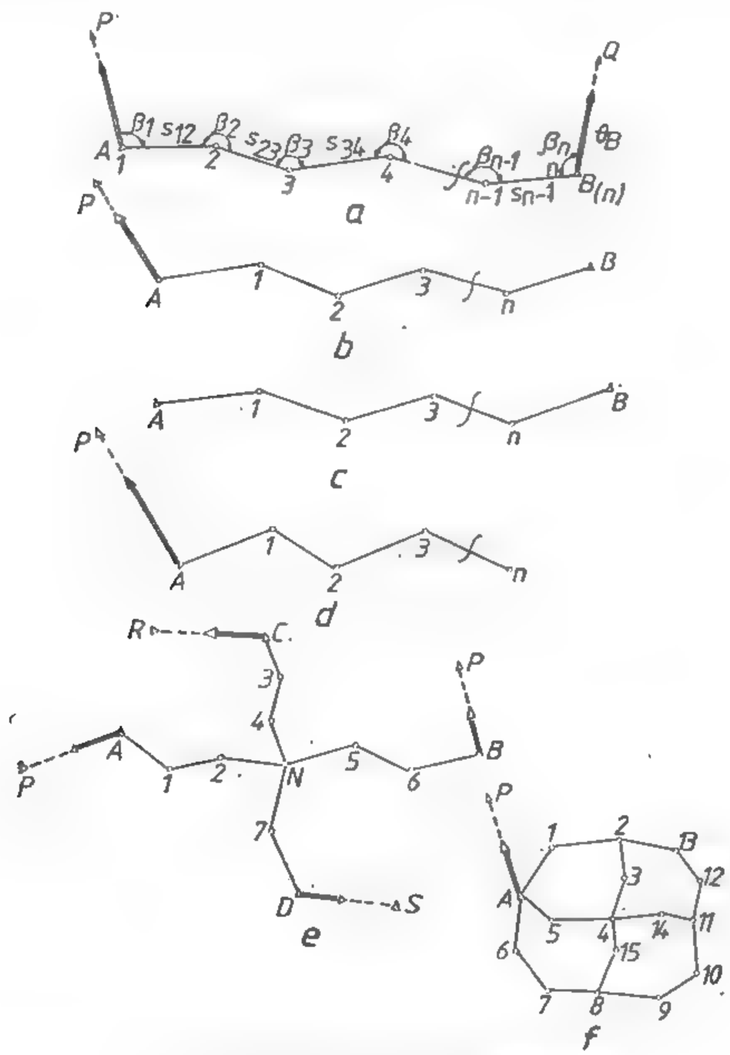


Fig. XV.21. Tipuri de trasee poligonale.

— traseu poligonal cu două puncte fixe şi o orientare fixă (*b*) ;
— traseu poligonal cu două puncte fixe (*c*) ;
— traseu poligonal cu un punct fix şi o orientare fixă (*d*) ;
— trasee poligonale cu un punct nodal sau mai multe puncte nodale (*e*) ;
— trasee poligonale acolate (*f*).

În dezvoltarea reţelelor de triangulaţie se întîlnesc frecvent trasee poligonale de tipul (*a*).

Aceste trasee realizează legătură între două puncte de triangulaţie de ordinul V, deci au o lungime medie de 2 km. Lungimea laturilor nu depăşeşte 200 m, pentru a putea fi măsurate direct sau indirect cu dispozitivul autoreductor, în condiţii de precizie ridicată.

Considerăm traseul poligonal cu punctele cunoscute (fixe) A şi B şi orientări fixe (cunoscute) θ_A şi θ_B (fig. XV.21). Se notează unghiurile măsurate cu $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_n$ şi distanţele măsurate cu $s_{12}, s_{23}, \ldots, s_{n-1,n}$.

Pentru determinarea coordonatelor punctelor ce formează traseul poligonal 2, 3, ..., $n - 1$, se procedează astfel :

— se calculează orientările provizorii ale laturilor :

$$\theta'_{12} = \theta_A + \beta_1$$

$$\theta'_{23} = \theta'_{21} + \beta_2 = \theta'_{12} + \beta_2 \pm 200 = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 \pm 200$$

. . . . . .

$$\theta_{n-1,n} = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \ldots + \beta_{n-1} \pm (n-2)\,200$$

$$\theta'_B = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \ldots + \beta_n \pm (n-1)\,200$$

— se stabileşte diferenţa

$$\theta'_B - \theta_B = W_\beta$$

şi se verifică condiţia :

$$W_\beta \leqslant m_\beta \sqrt{n} \ ;$$

în care : m_β este eroarea medie pătratică de măsurare a unui unghi ; n — numărul unghiurilor măsurate ;

— se stabileşte :

$$\frac{W_\beta}{n} = f_\beta$$

— se stabilesc orientările definitive :

$$\theta_{12} = \theta'_{12} + f_\beta$$

$$\theta_{23} = \theta'_{23} + 2f_\beta$$

. . . . . .

$$\theta_{n-1,n} = \theta'_{n-1,n} + (n-1)\,f_\beta$$

— se stabilesc coordonatele provizorii ale punctelor

$$x'_2 = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12}$$

$$y'_2 = y_1 + s_{12} \sin \theta_{12}$$

. . . . . .

$$x'_B = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12} + \ldots + s_{n-1,n} \cos \theta_{n-1,n}$$

$$y'_B = y_1 + s_{12} \sin \theta_{13} + \ldots + s_{n-1,n} \sin \theta_{n-1,n}$$

— se stabilesc diferențele :

$$x'_B - x_B = W_x ; \quad y'_B - y_B = W_y$$

și se verifică condițiile :

$$W_x, W_y \leqslant \pm 5 \text{ cm} \sqrt{L}$$

unde L este lungimea traseului poligonal în sute de metri ;

— se stabilesc

$$\frac{W_x}{[S]} = k_x ; \quad \frac{W_y}{[S]} = k_y ; \quad [S] = s_{12} + s_{23} + \ldots + s_{n-1,n}$$

— se stabilesc coordonatele definitive

$$x_2 = x'_2 + s_{12} k_x$$

$$y_2 = y'_2 + s_{12} k_y$$

$$x_3 = x'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_x$$

$$y_3 = y'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_y$$

. . . . . .

3.3. TRILATERAȚIA

Tehnica măsurătorilor de distanțe a evoluat și a cunoscut progrese importante în ultima perioadă. Construirea instrumentelor pe principii noi, bazate pe utilizarea undelor electromagnetice, electrooptice și undelor laser a permis lărgirea considerabilă a domeniului măsurătorilor de distanțe.

Astfel, este posibilă măsurarea în mod indirect a distanțelor de orice mărime cu mare precizie și în condiții mult variate. De asemenea, timpul în care sînt desfășurate operațiile de măsurare este relativ scurt, permițînd o reducere considerabilă a perioadei de lucru în teren. Aceste avantaje permit înlocuirea cu mult succes a măsurătorilor unghiulare cu cele de distanțe, atît în probleme de triangulație geodezică cît și în probleme de dezvoltare a triangulațiilor geodezice. Înlocuirea măsurătorilor de unghiuri cu cele de distanțe în rețelele geodezice de sprijin a creat, implicit, metode noi de rezolvare a acestor rețele. A fost schimbată însăși denumirea, din rețele de triangulație în rețele de trilaterație

3.3.1. COMPENSAREA LATURILOR ÎN REȚELELE DE TRILATERAȚIE

Compensarea mărimilor măsurate (laturilor) în scopul determinării valorilor lor probabile este, ca și în triangulație, operația de bază fără de care nu pot fi calculate coordonatele plane ale punctelor geodezice. Principiul compensării are la bază o relație

care leagă variațiile laturilor supuse compensării de variația unghiului dedus din ele. În consecință, condițiile geometrice impuse de o anumită formă de rețea sînt exprimate inițial în funcție de unghiurile ce intră în componența rețelei. Numărul acestor condiții este mult mai mic comparativ cu numărul necesar în rețelele de triangulație, mai ușor de stabilit și de scris.

Dacă rețeaua de puncte geodezice de forma unui poligon cu punct central (fig. XV.22) trebuie verificată prin metoda trilaterației, deci în locul unghiurilor sînt măsurate laturile, numărul condițiilor geometrice se stabilește cu relația :

$$r = l - 2p + 3 \tag{3.18}$$

în care : l este numărul laturilor măsurate ; p — numărul de puncte geodezice.

Înlocuind se obține :

$$r = 10 - 2 \cdot 6 + 3 = 1$$

Această condiție se referă la unghiurile din punctul P_6 și se numește *condiție de poligon cu punct central* și are forma :

$$(11) + (12) + (13) + (14) + (15) = 400^g \tag{3.19}$$

De regulă, pentru o formă simplă de rețea de trilaterație se scrie o condiție geometrică : condiție de patrulater, de unghi fix etc.

Folosind corecțiile unghiurilor din punctul P_6, condiția (3.19) devine :

$$V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega = 0 \tag{13.20}$$

unde : $\omega = 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400$

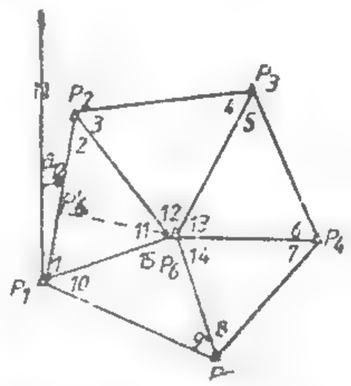


Fig. XV.22. Rețea de trilaterație.

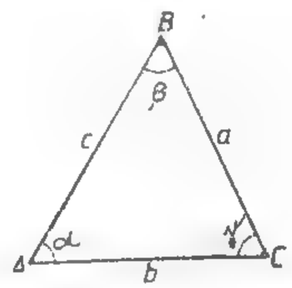


Fig. XV.23. Elementele unui triunghi.

Unghiurile *11., 12, ..., 15* sînt calculate din laturi, folosind relația generală :

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}} ; \quad 2p = a + b + c \tag{3.21}$$

Notațiile din formula (3.21) corespund cu cele dintr-un triunghi general (fig. XV.23)

Prin logaritmare şi diferenţiere din (3.21) se obţine o legătură între corecţia unghiului α şi corecţiile laturilor. Astfel :

$$V_\alpha = (A \cdot V_{12} + B \cdot V_{23} + C \cdot V_{31})\rho^{cc} \tag{3.22}$$

unde :

$$A = \frac{\sin\alpha}{4}\left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} + \frac{1}{p-b} + \frac{1}{p-c}\right)$$

$$B = \frac{\sin\alpha}{4}\left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} - \frac{1}{p-b} - \frac{1}{p-c}\right)$$

$$C = \frac{\sin\alpha}{4}\left(-\frac{1}{p} - \frac{1}{p-a} + \frac{1}{p-b} - \frac{1}{p-c}\right) \tag{3.23}$$

Considerînd un sens de scriere (de la stînga la dreapta), corecţiile din (3.20) se obţin în funcţie de corecţiile laturilor astfel :

$$\begin{aligned}
V_{11} &= (A_1 V_{12} + B_1 B_{26} + C_1 V_{16})\rho^{cc}\\
V_{12} &= (A_2 V_{23} + B_2 V_{36} + C_2 V_{26})\rho^{cc}\\
V_{13} &= (A_3 V_{34} + B_3 V_{46} + C_3 V_{36})\rho^{cc}\\
V_{14} &= (A_4 V_{45} + B_4 V_{56} + C_4 V_{46}\rho^{cc}\\
V_{15} &= (A_5 V_{51} + B_5 V_{16} + C_5 V_{56})\rho^{cc}
\end{aligned} \tag{3.24}$$

Înlocuind egalităţile (3.24) în (3.20) rezultă :

$$A_1 V_{12} + A_2 V_{23} + A_3 V_{34} + A_4 V_{45} + A_5 V_{51} + (B_1 + C_2)\, V_{26} +$$
$$+ (B_2 + C_3)\, V_{36} + (B_3 + C_4)\, V_{46} + (B_4 + C_5)\, V_{56} + (B_5 + C_1)\, V_{16} = +$$
$$+ \frac{\omega}{\rho^{cc}} = 0 \tag{3.25}$$

Ecuaţia în corecţiile laturilor (3.25) se rezolvă conform teoriei măsurătorilor condiţionate.

3.3.2. CALCULUL COORDONATELOR ÎN REŢELELE DE TRILATERAŢIE

În calculul coordonatelor punctelor se utilizează laturile compensate. Pentru calculul coordonatelor punctului P_6 (fig. XV.22) avem coordonatele punctelor P_1, P_2 şi laturile de valori probabile P_1P_6 şi P_2P_6. Se coboară o perpendiculară din P_6 pe P_1P_2 în P_6'. Utilizînd traseul $P_1P_6'P_6$ rezultă ;

$$\begin{aligned}
x_6 &= x_1 + P_1P_6'\cos\theta_{12} + P_6'P_6\sin\theta_{12}\\
y_6 &= y_1 + P_1P_6'\sin\theta_{12} - P_6'P_6\cos\theta_{12}
\end{aligned} \tag{3.26}$$

unde :

$$P_1P_6' = \frac{(P_1P_6)^2 - (P_2P_6)^2 + P_1P_2}{2P_1P_2}$$

$$P_6'P_6 = \sqrt{(P_1P_6)^2 - (P_1P_6')^2} \tag{3.27}$$

3.3.3. DEZVOLTAREA REŢELELOR DE TRILATERAŢIE

Cele mai simple metode de determinare a coordonatelor unor puncte noi folosind distanţe măsurate sînt : metoda intersecţiei liniare simplă şi metoda radierii.

Metoda intersecţiei liniare simplă. Este similară cu metoda intersecţiei unghiulare, cu deosebirea că în locul unghiurilor sînt măsurate distanţe.

Dacă sînt cunoscute coordonatele punctelor P_1, P_2 şi distanţele de la aceste puncte la punctul P_0 (fig. XV.24), pot fi determinate coordonatele punctului P_0. Pentru aceasta sînt utilizabile formulele (3.26) şi (3.27).

Pentru verificarea coordonatelor este necesar un al treilea punct de coordonate cunoscute P_3 şi distanţa măsurată de la P_3 la P_0. Se procedează în continuare ca în cazul intersecţiei unghiulare.

Metoda radierii. Utilizează unghiuri şi distanţe (de orice mărime) măsurate.

Faţă de o direcţie fixă P_1P_2 (fig. XV.25), poziţia punctului P_0 este bine determinată măsurînd unghiul α şi distanţa P_1P_0.

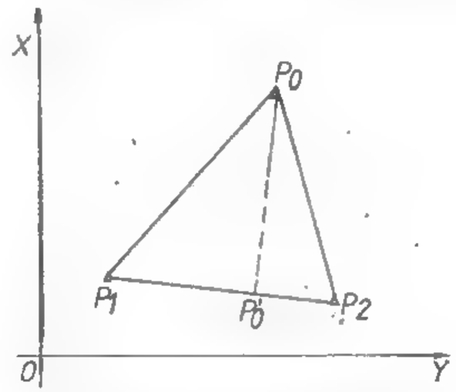


Fig. XV.24. Intersecţia liniară simplă.

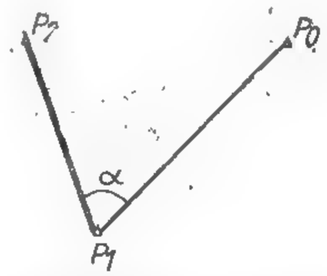


Fig. XV.25. Metoda radierii.

Măsurătorile de distanţe pe baza propagării undeor avînd o precizie mare, se impune ca şi unghiurile să fie măsurate cu precizie de asemenea mare. În cazul laturilor mai lungi, pentru control şi creşterea preciziei se măsoară, din punctul P_2, unghiul β şi distanţa P_2P_0, coordonatele definitive obţinîndu-se din media aritmetică a celor două radieri.

3.4. POLIGONOMETRIA

Poligonometria constituie o metodă, ca şi triangulaţia şi trilateraţia, de determinare a punctelor geodezice de bază care formează reţelele geodezice de sprijin.

Cu ajutorul acestei metode se determină coordonatele plane ale unui şir de puncte dispuse sub forma unei linii poligonale, folosind unghiurile măsurate în aceste puncte şi laturile măsurate dintre ele.

Metoda poligonometriei poate fi folosită în dublu scop şi anume:

— pentru determinarea punctelor geodezice de sprijin al căror ordin corespunde cu ordinul punctelor geodezice determinate prin metodele triangulaţiei şi trilateraţiei;

— pentru determinarea punctelor geodezice situate în interiorul reţelelor geodezice de sprijin, cunoscute ca puncte de dezvoltare şi au ordinul IV—V.

Avînd în vedere particularităţile metodei, precum şi condiţiile de relief specifice zonelor miniere, determinarea punctelor geodezice de ordin inferior prin poligonometrie constituie o cerinţă practică în rezolvarea problemelor de topografie minieră.

3.4.1. REALIZAREA TRASEELOR ŞI REŢELELOR POLIGONOMETRICE

Poligonometria se realizează sub forma unor trasee poligonale simple (fig. XV.26) sau sub forma unor reţele de trasee poligonale (fig. XV.27).

La realizarea traseelor şi reţelelor poligonometrice se are în vedere următoarele:

1) Traseele poligonale să fie întinse. Abaterea punctelor unui traseu de la linia de legătură între punctele de capăt nu trebuie să fie mai mare de 1/3 din lungimea lui.

Fig. XV.26. Traseu poligonometric simplu.

2) Unghiurile măsurate în punctele traseelor poligonale nu trebuie să fie mai mici de 135° sau mai mari de 225°.

3) Eroarea de centrare în punctele de staţie nu trebuie să depăşească ± 1 mm.

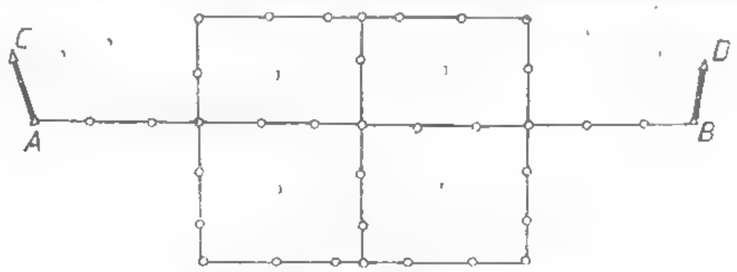


Fig. XV.27. Reţea poligonometrică.

4) Neînchiderea unghiulară nu poate depăşi $6^{cc}\sqrt{n}$ (unde n este numărul unghiurilor măsurate).

5) Laturile se măsoară de două ori, diferenţa între măsurători nu trebuie să fie mai mare de 1 : 25 000 din lungimea lor.

3.4.2. CONDIŢII DE APLICARE. AVANTAJE ŞI DEZAVANTAJE

În general, metoda poligonometriei este folosită în următoarele situaţii:

— cînd punctele geodezice ce trebuiesc determinate au o dispunere longitudinală;

— cînd dezvoltarea reţelelor geodezice prin metodele triangulaţiei şi trilateraţiei nu poate fi executată;

— cînd se cere transmiterea coordonatelor dintr-un punct cunosut într-un punct nou.

Metoda poligonometriei, în comparaţie cu metodele triangulaţiei şi trilateraţiei, prezintă o serie de avantaje şi anume:

— costul lucrărilor este mai redus, datorită numărului redus de puncte pe aceeaşi suprafaţă şi al randamentului ridicat;

— este mai flexibilă, pretîndu-se mai mult la condiţii de relief;

Dezavantajele metodei poligonometriei se referă la:

— posibilităţi reduse de control pentru verificarea măsurătorilor;

— posibilităţile de cumulare a erorilor pe orientări sînt mai mari.

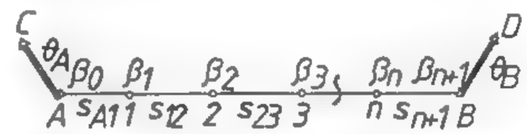
3.4.3. REZOLVAREA TRASEELOR ŞI REŢELELOR POLIGONOMETRICE

Rezolvarea traseelor şi reţelelor poligononometrice presupune mai întîi compensarea măsurătorilor şi după aceea determinarea coordonatelor punctelor.

Metoda cu aplicare largă în compensare este *metoda măsurătorilor condiţionate*, datorită volumului mai redus de calcul în comparaţie cu metoda măsurătorilor indirecte.

Se consideră un traseu poligonometric (fig. XV.28) în care sînt date coordonatele punctelor A şi B şi orientările θ_A şi θ_B, sînt măsurate unghiurile β şi distanţele s.

Fig. XV.28. Elementele unui traseu simplu poligonometric.



Avînd în vedere că sînt măsurate în plus trei mărimi (unghiurile β_n, β_{n+1} şi distanţele s_{nB}) vor exista 3 condiţii geometrice care conduc la ecuaţiile:

$$[V_\beta] + W_\beta = 0$$

$$[V_s \cos\theta] - \frac{1}{\rho''}[(y_B - y)\, V_\beta] + W_x = 0 \qquad (3.28)$$

$$[V_s \sin\theta] + \frac{1}{\rho''}[(x_B - x)\, \bar{V}_B] + W_y = 0$$

în care: V_β sînt corecţiile unghiurilor; V_s—corecţiile distanţelor; x, y — coordonatele punctelor traseului poligonometric; W_x, W_y— neînchiderile pe coordonatele punctului B.

Sistemul de ecuaţii (3.28) se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, în care scop se consideră :

— ponderile unghiurilor $p_\beta = \frac{1}{m_\beta^2}$

— ponderile distanţelor $p_s = \frac{1}{m_s^2}$ (3.29)

unde m_β şi m_s sînt erorile medii pătratice de măsurare a unghiurilor, respectiv distanţelor.

Ponderile din (3.29) pot fi scrise şi altfel :

$$p_\beta = \frac{1}{m_\beta^2}; \qquad p_s = \frac{1}{(f\sqrt{s})^2}$$

sau :

$$p_\beta = 1; \qquad p_s = \frac{\mu^2}{s}; \qquad \left(\mu = \frac{m_\beta}{f}\right) \tag{3.30}$$

Cu ponderile din (3.30) şi cu coeficienţii corecţiilor din (3.28) notaţi literar cu a, b, c se obţine sistemul de ecuaţii normale

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p}\right]k_1 + \left[\frac{ab}{p}\right]k_2 + \left[\frac{ac}{p}\right]k_3 + W_\beta &= 0 \\ \left[\frac{bb}{p}\right]k_2 + \left[\frac{bc}{p}\right]k_3 + W_x &= 0 \\ \left[\frac{cc}{p}\right]k_3 + W_y &= 0 \end{aligned} \tag{3.31}$$

Din sistemul (3.31) rezultă corelatele k_1, k_2, k_3 cu care se determină corecţiile mărimilor măsurate. Astfel :

$$V_i = \frac{1}{p_i}(a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3); \qquad i = 1, 2, \ldots N \tag{3.32}$$

unde N este numărul total al unghiurilor şi laturilor măsurate.

Se calculează valorile compensate ale unghiurilor şi distanţele lor şi în cele din urmă cu acestea se calculează coordonatele punctelor poligonometrice.

În cazul reţelelor poligonometrice important, în primul rînd, este stabilirea numărului de condiţii geometrice care, ca natură sînt, ca şi în cazul precedent, condiţii de unghiuri şi de coordonate.

Se folosesc în acest scop relaţiile :

— condiţii de unghiuri : $r_1 = (P + R - 1) + Q$

— condiţii de coordonate ; $r_2 = 2(P + R - 1)$ (3.33)

în care : P este numărul poligoanelor închise ; R — numărul de puncte cunoscute în care există şi orientări cunoscute ; Q — numărul punctelor nodale cu orientări cunoscute

De exemplu, considerînd o reţea poligonometrică (fig. XV.29) cu :

$$P = 1; \; R = 4; \; Q = 1$$

se obţine :

$$r_1 = 1 + 4 - 1 + 1 = 5$$

$$r_2 = 2(1 + 4 - 1) = 8$$

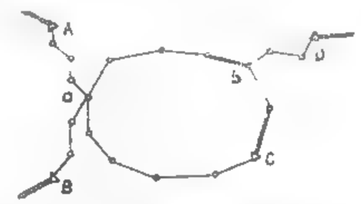


Fig. XV.29. Exemplu de reţea poligonometrică.

În scrierea condiţiilor geometrice se aleg traseele care conţin cît mai puţine necunoscute. Astfel :

— pentru condiţiile de unghiuri traseele : AaB, CaB, Cb, Db, Aab ;

— pentru condiţiile de coordonate traseele : AaB, CbD, AaC, BaD.

Corespunzător acestor condiţii geometrice se scriu ecuaţii de erori de forma celor din (3.28), iar sistemul de ecuaţii format se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, obţinîndu-se corecţiile mărimilor măsurate.

În continuare se compensează unghiurile şi distanţele, iar în final se calculează coordonatele punctelor.

Pentru punctele nodale trebuie să rezulte aceleaşi coordonate, indiferent de drumul parcurs pentru calculul acestora.

3.5. NIVELMENT

3.5.1. SUPRAFAŢA DE NIVEL ZERO. SUPRAFAŢA DE NIVEL. ALTITUDINI.

Altitudinile (cotele) punctelor de pe suprafaţa Pămîntului se determină faţă de suprafaţa de nivel zero, respectiv faţă de suprafaţa care coincide cu aceea a mărimilor deschise şi oceanelor în starea lor de echilibru prelungită pe sub continente.

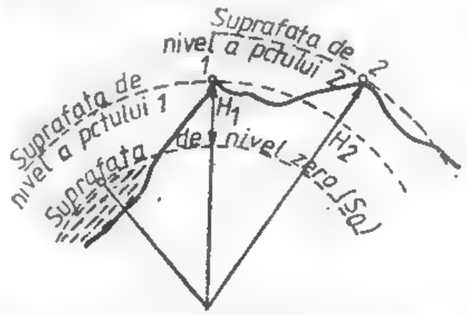


Fig. XV.30. Cotele punctelor în cazul suprafeţei sferice de nivel.

Matematic, nivelul de echilibru este materializat prin puncte fixe aflate pe malul oceanelor şi mărilor. La malul Mării Negre există un asemenea punct numit *zero fundamental*. Pornind de la acest punct se determină cotele tuturor punctelor situate în ţara noastră.

Suprafaţa care este normală în fiecare punct al ei la direcţia verticalei (la direcţia forţei gravitaţiei) se numeşte *suprafaţă de nivel*.

Se numeşte *altitudine* sau *cotă absolută* a unui punct topografic, distanţa în metri, pe verticală a punctului, cuprinsă între suprafaţa de nivel zero şi suprafaţa de nivel ce trece prin punctul considerat (cotele H_1 şi H_2 din fig. XV.30).

Înălţimile raportate la o suprafaţă de nivel se numesc *relative*.

Suprafeţele de nivel pot fi considerate sferice în cazul nivelmetrului desfăşurat pe distanţe de ordinul kilometrilor sau plane atunci cînd se desfăşoară pe întinderi mici.

3.5.2. CORECŢII DE NIVELMENT

În cazul suprafeţelor de nivel sferice, asupra observaţiilor de nivelment se aplică corecţia C_t ce rezultă :

$$C_t = C_s - C_r$$

unde : C_s este corecţia de sfericitate ; C_r — corecţia datorită refracţiei atmosferice.

Avînd în vedere că :

$$C_S = \frac{D^2}{2R} \quad \text{şi} \quad C_R = K\,\frac{D^2}{2R}$$

rezultă :

$$C_t = (1 - k)\,\frac{D^2}{2R}$$

unde : D este distanţa între punctele de nivelment ; R — raza Pămîntului egală aproximativ cu 6 379 km ; K — coeficientul de refracţie atmosferică egală cu 0,13.

3.5.3. FELURILE NIVELMENTULUI

În funcţie de instrumentul şi metoda utilizată, se deosebesc în principal următoarele feluri de nivelment : *geometric* şi *trigonometric*.

Indiferent de felul nivelmentului, problema se pune în scopul obţinerii pe bază de măsurători a diferenţei de înălţime (diferenţă de nivel) între două puncte cu ajutorul căreia să rezulte :

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

Nivelmentul geometric se bazează pe principiul vizei orizontale a instrumentului.

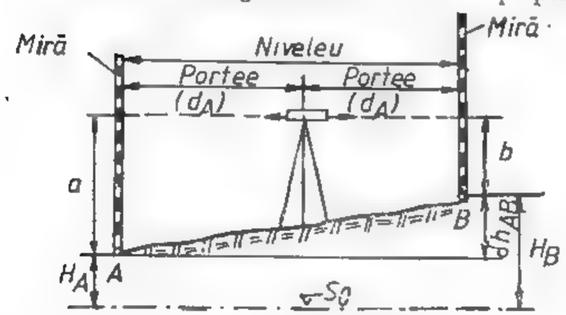


Fig. XV.31. Nivelment geometric.

Diferenţa de nivel h_{AB} dintre două puncte A şi B se obţine din diferenţa citirilor pe mire ţinute vertical în punctele A şi B, după ce s-a realizat orizontalitatea axei de vizare a instrumentului de nivelment (fig. XV.31). Distanţa între punctele A şi B nu trebuie să fie mai mare de 300 m.

Nivelmentul geometric este cel mai precis nivelment.

Nivelmentul trigonometric. Diferenţa de nivel dintre două puncte se determină cu ajutorul unghiului vertical (φ) măsurat cu teodolitul instalat într-unul din puncte.

Pe o mică gradată situată vertical în celălalt punct se poate citi la înălţimea instrumentului, în cazul distanţelor mici obţinînd :

$$h_{12} = D\,\mathrm{tg}\varphi$$

sau la baza semnalului propriu-zis al balizelor, piramidelor etc, în cazul distanţelor mari obţinînd :

$$h_{12} = D\,\mathrm{tg}\varphi + i - L + (1 - K)\,\frac{D^2}{2R}$$

unde : i este înălţimea aparatului, iar L — înălţimea semnalului.

4. LUCRĂRI DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Ansamblul de lucrări aferente prospectării, explorării, deschiderii, pregătirii şi exploatării zăcămintelor de substanţe minerale utile este condus din punct de vedere tehnico-inginesc pe baza lucrărilor topografice miniere. Totalitatea acestor lucrări topografice, în cadrul unui bazin minier, trebuie să aibă un caracter unitar atît la suprarată cît şi în subteran, în întreaga desfăşurare a activităţii miniere.

Lucrările topografice miniere sînt diferenţiate în lucrări *planimetrice* şi lucrări *nivelitice*, în scopul constituirii osaturii de sprijin, şi dependent de aceasta *ridicarea topografică, proiectarea şi conducerea în execuţie a lucrărilor miniere, urmărirea efectelor fenomenelor de echilibrare a rocilor şi deformarea suprafeţei sub influenţa spaţiului subteran exploatat* etc.

4.1. PLANIMETRIE SUBTERANĂ

Constă din lucrări topografice de determinare a coordonatelor (x, y) pentru punctele reţelei topografice subterane. În acest sens, la suprafaţa bazinului minier este constituită o reţea geodezică de sprijin formată din puncte de ordinul IV şi V şi o serie de puncte noi, încadrate în apropierea gurilor de acces în subteran.

Faţă de galeriile de coastă, punctele geodezice de sprijin nu trebuie să fie la o distanţă mai mare de 150 m, iar faţă de puţurile verticale la mai mult de 30 m şi aceasta pentru a permite, după caz, transmiterea sistemului planimetric de coordonate în subteran.

4.1.1. TRANSMITERI DE COORDONATE ŞI ORIENTĂRI ÎN SUBTERAN

Sistemul planimetric poate fi considerat transmis în subteran prin lucrări miniere atunci cînd în subteran au fost materializate cel puţin două puncte topografice la care s-au determinat coordonatele primului punct şi orientarea dintre cele două puncte. Ale-

gerea metodelor pentru transmiterea de coordonate şi orientări se face funcţie de tipul de lucrare minieră de acces în subteran. În general, sînt cunoscute mai multe posibilităţi, dintre care cele mai importante sînt : legătura prin galerie de coastă (plan înclinat, puţ înclinat etc.); legătura prin două puţuri verticale de mină; legătura pe un singur puţ vertical de mină.

4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă

Acest gen de legătură necesită la suprafaţă cunoaşterea unui punct A, dat prin coordonatele sale planimetrice (x_A, y_A) şi o orientare de pornire θ_0, sprijinită pe acesta. Metoda de legătură utilizată este *metoda radierii simple* (fig. XV.32), care impune ca elemente măsurate : unghiul orizontal β_0 şi distanţa orizontală s_1

Calculul orientării : $\theta_{A1} = \theta_0 + \beta_0$ (4.1)

Calculul coordonatelor punctului radiat $\odot_{1A}$ $\begin{cases} x_1 = x_A + s_1 \cos\theta_1 \\ y_1 = y_A + s_1 \sin\theta_1 \end{cases}$ (4.2)

Ca atare, sistemul este bine stabilit în subteran prin orientare

$$\theta_{1A} = \theta_{A1} + 200^g \qquad (4.3)$$

şi coordonatele corespunzătoare punctului subteran $\odot_1 (x_1 y_1)$.

În subteran sînt constituite în continuarea radierii diferite tipuri de drumuri planimetrice tratate corespunzător (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.2) (§ 4.1.3.4) sau în alte condiţii (§ 4.1.3.5) şi (§ 4.1.3.6).

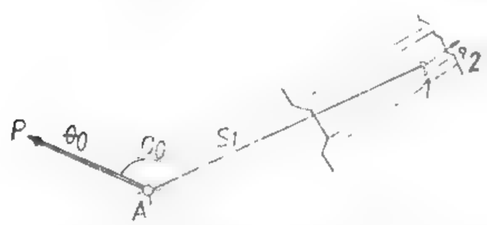


Fig. XV.32. Legătura prin galerie de coastă.

Transmiterea erorilor punctuale şi pe orientări este corespunzătoare metodei radierii simple (§ 4.1.1.1.).

Abaterea pe orientare $m_{\theta_{A1}}$ a laturii nou determinate θ_{A1} este dată de relaţia :

$$m_{\theta_{A1}} = \pm \sqrt{m_{\theta_0}^2 + m_{\beta_0}^2} \qquad (4.4)$$

în care : m_{θ_0} este eroarea orientării iniţiale luată din protocolul triangulaţiei, sau expeditiv :

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \qquad (4.5)$$

unde : $m_{x,y}$ este eroarea de încadrare a punctului vizat (max $\pm$ 15 cm) ; D — lungimea vizei (de la punctul A la P) ; m_{β_0} — eroarea de măsurare a unghiului β_0 ; poate fi luată cu bune rezultate ;

$$m_{\beta_0} = \pm (2 - 5)\, p_a \qquad (4.6)$$

unde : (2—5) este coeficient de omogenizare, 2 pentru aparate mai puţin precise unde $p_a = \pm 50^{cc}$ şi 5 pentru $p_a = \pm 2^{cc}$; p_a — precizia aparatului.

Abaterile pentru coordonate vor fi calculate cu relaţiile :

$$m_{x_1} = \pm \sqrt{m_{x_A}^2 + f^2 \Delta x_{A1}^2 + \Delta y_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta_{A1}}}{\rho^{cc}}\right)^2}$$

şi (4.7)

$$m_{y_1} = \pm \sqrt{m_{y_A}^2 + f^2 \Delta y_{A1}^2 + \Delta x_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta_{A1}}}{\rho^{cc}}\right)^2}$$

unde : m_{x_A}, m_{y_A} sînt erorile de încadrare a punctului A, care pot fi luate cu aproximaţie

$$m_x = m_y = \pm \frac{15 \text{ cm}}{2} \qquad (4.8)$$

$f = \dfrac{1}{2000 - 5000}$ — eroarea unitară de măsurare a distanţelor :

- pentru suprafaţă : $\dfrac{1}{5000}$
- pentru subteran : $\dfrac{1}{2000}$ (4.9)

$\Delta_{x_{A1}}$ şi $\Delta_{y_{A1}}$ — sînt relativele pe x şi respectiv pe y de la A pînă la punctul încadrat 1

În mod corespunzător se va face studiul pentru drumurile în continuare (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.4).

4.1.1.2. Legătura pe două puţuri verticale de mină

În apropierea fiecărui puţ există din reţeaua de apropiere, cel puţin un punct şi o orientare de sprijin. În fiecare puţ se lestează cîte un fir (fig. XV.33) a căror coordonate în sistemul general al minei se determină cît mai precis prin metoda radierii simple (§ 4.1.1.1), coordonate care datorită proiectării rămîn aceleaşi şi în subteran.

La nivelul orizontului subteran se constituie, între cele două puţuri, poligonaţia minieră (§ 4.1.2.3).

Transmiterea erorilor pe coordonate se face urmînd propagarea acestora de la punctele încadrate la suprafaţă prin radiere simplă (§ 4.1.1.1), lucrări de proiectare (§ 4.1.2) şi poligonaţie minieră (§ 4.1.3.3.).

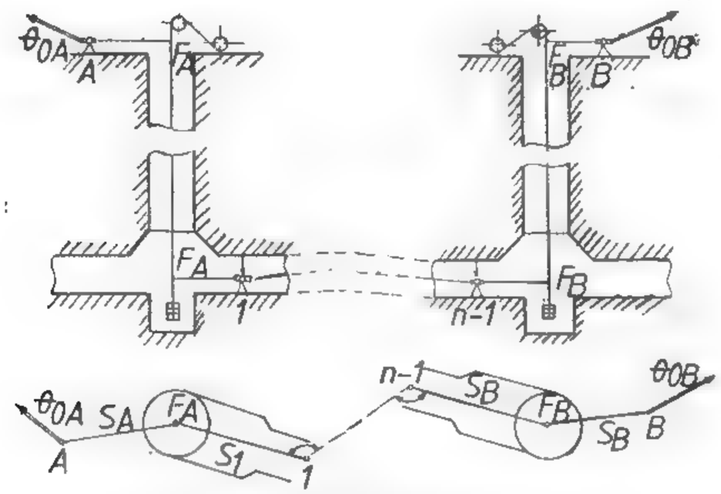


Fig. XV.33. Legătura prin două puţuri verticale de mină în subteran.

4.1.1.3. Legătura pe un singur puţ vertical de mină

Se realizează prin lestarea, în secţiunea puţului, a două fire metalice cît mai îndepărtate între ele. Punctul încadrat la suprafaţă şi cele două fire lestate vor forma un triunghi de legătură (fig. XV.34).

Triunghiul de legătură la suprafaţă. În apropierea fiecărui puţ există cel puţin un punct încadrat din reţeaua de apropiere, necesar transmiterii de coordonate şi orientări.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ şi orientarea iniţială θ_0.

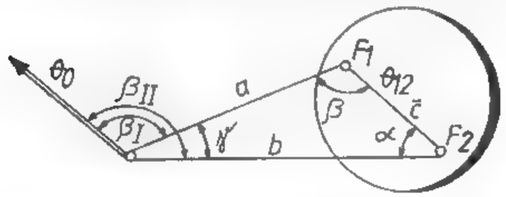


Fig. XV.34. Joncţiunea la suprafaţă prin triunghi de legătură.

Elementele măsurate:
— unghiurile β_I şi β_{II};
— distanţele a, b şi c — laturile triunghiului.

Se calculează coordonatele celor două fire F_1 şi F_2 prin metoda radierii simple § 4.1.1.1.), (§4. 2).

Orientarea dintre fire θ_{12} nu se va determina niciodată din coordonatele celor două fire, ci se va calcula prin însumarea la orientarea iniţială a unghiurilor măsurate şi calculate.

Se calculează:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I \tag{4.10}$$

Funcţie de forma triunghiului de legătură se aplică una din relaţiile trigonometrice cunoscute, astfel:

— pentru triunghi alungit (γ foarte mic; α tinde către 200^g şi totodată β foarte mic, sau invers) se folosesc relaţiile:

$$\sin\alpha' = a\frac{\sin\gamma}{\bar{c}}; \quad \sin\beta' = b\frac{\sin\gamma}{\bar{c}} \tag{4.11}$$

— pentru triunghi alungit isoscel (γ foarte mic; α şi β tind către unghi drept) se folosesc relaţiile:

$$\cos\alpha' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos\beta' = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \tag{4.12}$$

— pentru triunghi isoscel ce tinde către echilateral, se folosesc relaţiile:

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha'}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \operatorname{tg}\frac{\beta'}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}} \tag{4.13}$$

în care: $p = \dfrac{a+b+c}{2}$

rezultînd astfel: α' şi β' unghiuri calculate din elemente măsurate.

Se compensează unghiurile în triunghi:

$$\alpha' + \beta' + \gamma = 200^g \pm W \tag{4.14}$$

Unghiurile definitive vor fi:

$$\alpha = \alpha' \pm \frac{W}{2}; \quad \beta = \beta' \pm \frac{W}{2} \tag{4.15}$$

Se calculează orientarea dintre fire:

$$\theta_{12} = \theta_0 + \beta_I - \alpha + 200^g = \theta_0 + \beta_I + \beta \tag{4.16}$$

orientare ce rămîne aceeaşi şi pentru subteran.

Triunghiul de legătură din subteran. Elementele cunoscute sînt cele determinate la zi şi anume (fig. XV.35):

— perechile de coordonate pentru firele lestate $F_1(x_{F_1}, y_{F_1})$ şi $F_2(x_{F_2}, y_{F_2})$;
— orientarea dintre fire θ_{12}.

Elementele măsurate identic ca la triunghiul de la suprafaţă:
— unghiurile β_I şi β_{II};
— distanţele a, b şi c — laturile triunghiului.

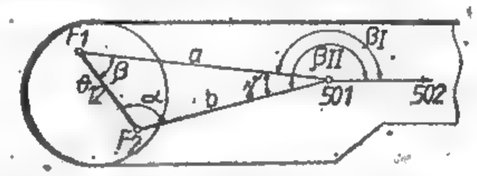


Fig. XV.35. Joncţiunea în subteran prin triunghi de legătură.

Se rezolvă triunghiul de legătură, astfel:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I$$

Se calculează unghiurile α şi β după forma triunghiului cu relaţiile corespunzătoare (4.11), (4.12) sau (4.13) şi se compensează după (4.14), (4.15).

Se calculează orientările către punctul subteran ⊙ 501

$$\theta_{F_1, 501} = \theta_{12} - \beta; \quad \theta_{F_2, 501} = \theta_{12} + \alpha + 200^g \tag{4.17}$$

şi orientarea laturii $\theta_{501,502}$:

$$\theta_{501,502} = \theta_{12} - \beta + \beta_I + 200^g = \theta_{12} + \alpha \tag{4.18}$$

Orientări cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele punctului $\overset{\odot}{|}\,501$:

— din coordonatele firului F_1 rezultă:

$$\overset{\odot}{|}\,501 \begin{cases} x_{501}^{F_1} = x_{F_1} + a\cos\theta_{F_1,501} \\ y_{501}^{F_1} = y_{F_1} + a\sin\theta_{F_1,501} \end{cases} \tag{4.19}$$

— din coordonatele firului F_2 rezultă:

$$\overset{\odot}{|}\,501 \begin{cases} x_{501}^{F_2} = x_{F_2} + b\cos\theta_{F_2,501} \\ y_{501}^{F_2} = y_{F_2} + b\sin\theta_{F_2,501} \end{cases} \tag{4.20}$$

Valorile cele mai probabile vor fi mediile aritmetice ale celor două determinări:

$$x_{501} = \frac{x_{501}^{F_1} + x_{501}^{F_2}}{2}; \quad y_{501} = \frac{y_{501}^{F_1} + y_{501}^{F_2}}{2} \tag{4.21}$$

Legatura între reţeaua topografică de la suprafaţă şi cele două fire lestate în secţiunea puţului, cînd condiţiile permit, poate fi realizată şi prin intermediul patrulaterului de legătură. Astfel, la suprafaţă sînt cunoscute fie un punct încadrat şi o orientare şi se mai alege un punct ajutător fie două puncte încadrate în reţeaua geodezică.

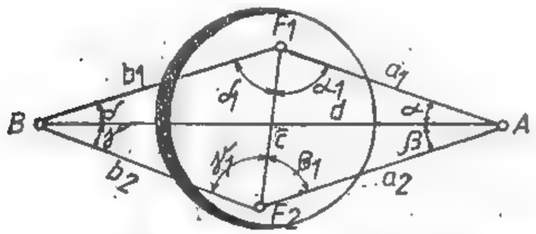


Fig. XV.36. Patrulater bilateral la suprafaţă.

Ca formă, patrulaterul poate fi bilateral (fig. XV.36), cînd cele două puncte se găsesc lateral faţă de firele lestate, sau unilateral (fig. XV.37), cînd cele două puncte se găsesc de o singură parte a firelor.

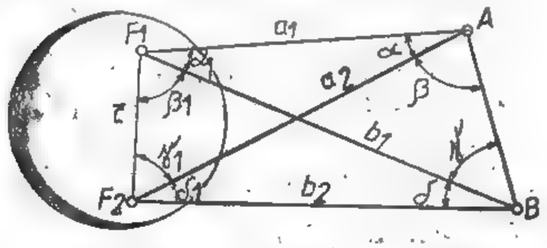


Fig. XV.37. Patrulater unilateral la suprafaţă.

Elementele cunoscute sînt: punctul A cu coordonatele plane (x_A, y_A) şi orientarea θ_{AB}.

Elementele măsurate:

— unghiurile α, β, γ, δ;

— toate laturile posibile a_1, a_2, b_1, b_2, c, d.

Se calculează prin radiere simplă coordonatele punctului ajutător şi coordonatele firelor F_1 şi F_2 lestate în secţiunea puţului.

Se calculează mărimea unghiurilor cu vîrful în firele lestate, fie prin aplicarea relaţiilor corespunzătoare de la triunghiul de legătură (4.11) (4.16), utilizînd laturile măsurate şi unghiurile, fie făcîndu-se apel la relaţiile (4.22) — (4.25) utilizînd numai unghiurile măsurate:

— pentru patrulaterul bilateral:

$$\operatorname{ctg}\alpha_1' = \frac{\sin\delta\sin(\beta+\gamma)}{\sin\gamma\sin(\alpha+\delta)\sin(\alpha+\beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha+\beta)$$

$$\operatorname{ctg}\beta_1' = \frac{\sin\gamma\sin(\alpha+\delta)}{\sin\delta\sin(\beta+\gamma)\sin(\alpha+\beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha+\beta) \tag{4.22}$$

$$\operatorname{ctg}\gamma_1' = \frac{\sin\beta\sin(\alpha+\delta)}{\sin\alpha\sin(\beta+\gamma)\sin(\gamma+\delta)} - \operatorname{ctg}(\gamma+\delta)$$

$$\operatorname{ctg}\delta_1' = \frac{\sin\alpha\sin(\beta+\gamma)}{\sin\beta\sin(\alpha+\delta)\sin(\gamma+\delta)} - \operatorname{ctg}(\gamma+\delta)$$

compensarea unghiurilor constînd în:

$$\alpha_1' + \beta_1' + \gamma_1' + \delta_1' = 400 \pm W$$

$$\alpha_1 = \alpha_1' \mp \frac{W}{4}; \quad \beta_1 = \beta_1' \mp \frac{W}{4}; \tag{4.23}$$

$$\gamma_1 = \gamma_1' \mp \frac{W}{4}; \quad \delta_1 = \delta_1' \mp \frac{W}{4}$$

— pentru patrulaterul unilateral:

$$\alpha_1 = 200^g - (\alpha+\beta+\gamma); \quad \delta_1 = 200^g - (\beta+\gamma+\delta)$$

$$\operatorname{ctg}\beta_1' = \frac{\sin\delta_1\sin(\alpha+\beta)}{\sin\delta\sin\alpha_1\sin\beta} - \operatorname{ctg}\delta; \quad \operatorname{ctg}\gamma_1' = \frac{\sin\alpha_1\sin(\gamma+\delta)}{\sin\gamma\sin\delta_1\sin\alpha} - \operatorname{ctg}\alpha \tag{4.24}$$

iar compensarea unghiurilor constînd în:

$$\beta_1' + \gamma_1' = \beta + \gamma \mp W;$$

$$\beta_1 = \beta_1' \pm \frac{W}{2}; \quad \gamma_2 = \gamma_2' \pm \frac{W}{2} \tag{4.25}$$

Cu ajutorul acestora şi a unghiurilor măsurate se calculează orientarea dintre fire, prin însumarea în mod corespunzător la orientarea cunoscută θ_{AB}.

Exemplu pentru patrulaterul bilateral :

$$\theta_{12} = \theta_{AB} + \alpha + \alpha_1 + 200^g \qquad (4.26)$$

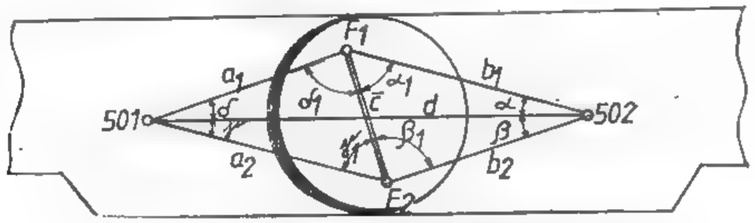


Fig. XV.38. Patrulater bilateral subteran.

sau pentru patrulaterul unilateral :

$$\theta_{12} = \varrho_{AB} + \beta + \alpha + \alpha_1 + 200^g \qquad (4.27)$$

În cazul legăturii în subteran se întîlnesc ambele cazuri de patrulater, atît bilateral (fig. XV.38) cît şi unilateral (fig. XV.39).

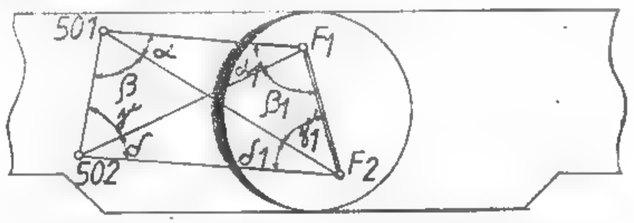


Fig. XV.39. Patrulater unilateral subteran.

Ordinea operaţiilor se schimbă, deoarece se va rezolva mai întîi patrulaterul, rezultînd orientările, după care se calculează coordonatele punctelor din coordonatele firelor lestate.

Relaţiile de calcul fiind asemănătoare, vor fi adaptate situaţiei

4.1.2. PROIECTAREA COORDONATELOR ŞI ORIENTĂRII PRIN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Pentru a transmite sistemul de referinţă de la suprafaţă în subteranul minelor, este suficient să se transmită coordonatele unui punct topografic minier şi orientarea unei laturi sprijinite pe acest punct. În raport cu condiţiile şi aparatura existentă pentru proiectarea de coordonate şi orientări, sînt utilizate două metode şi anume : *metoda mecanică* şi metoda *optică*, iar pentru identificarea orientării în subteran sînt folosite : metoda *giroscopică* şi metoda *magnetică*, utilizate de regulă în combinaţie cu metoda mecanică de proiectare de coordonate.

4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor

În secţiunea liberă a unui puţ vertical de mină — degrevat temporar de transport şi aeraj (fig. XV.40) — se lansează un fir metalic *1* ce se găseşte depozitat pe un tambur cu troliu *2* ghidat de un scripete *3* şi un reper sub formă de coadă de rîndunică *4* — ambele aşezate în turnul puţului. Firul este lestat cu o greutate constituită dintr-un taler *5* şi greutăţi calibrate *6*, ansamblul cufundat într-un recipient avînd apă, rumeguş şi ulei.

Firul metalic este de oicei din sîrmă feroasă sau alamă oţeloasă, rezistent la tracţiune şi îndoire.

Aşa cum s-a arătat, poziţia planimetrică a firului este bine determinată la suprafaţă prin metoda radierii simple.

Datorită lungimii mari a firului (înălţimea puţului) firul va executa o serie de oscilaţii.

Poziţia de echilibru va fi identificată prin efectuarea de observaţii pe riglele unui dispozitiv *7*. Cele două rigle se găsesc aproximativ perpendiculare şi sînt situate pe o coroană. O riglă este aşezată perpendicular pe linia de viză a teodolitului plasat în punctul ⊙ *501* (fig. XV.41), iar cealaltă riglă va fi observată în oglindă, tot cu ajutorul teodolitului. Firul se lasă să oscileze liber, observînd pe fiecare riglă cîte trei elongaţii maxime consecutive (M_1, M_2, M_3 şi N_1, N_2, N_3). Poziţia medie pe fiecare riglă va fi determinată expeditiv :

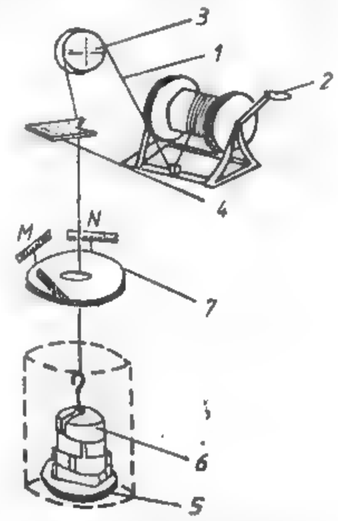


Fig. XV.40. Instalaţia mecanică de proiectare a coordonatelor pe puţul vertical de mină.

— pe rigla M : $$M_0 = \frac{M_1 + 2M_2 + M_3}{4} \qquad (4.26)$$

— pe riglă N : $$N_0 = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4} \qquad (4.27)$$

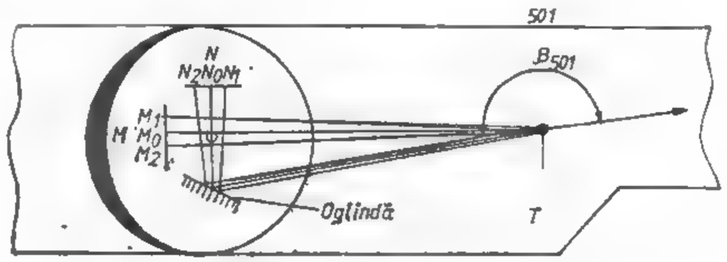


Fig. XV.41. Stabilirea poziţiei de echilibru a firului lestat.

Cu ajutorul unei prisme de centrare, firul va fi poziţionat corespunzător citirilor M_0 şi N_0, poziţie faţă de care vor fi efectuate măsurătorile de legătură cu punctele topografice subterane.

Pentru transmiterea unei orientări pe un singur puţ de mină, operaţiile descrise anterior vor fi aplicate pentru două fire (F_1 şi F_2), legătura topografică efectuîndu-se după (§ 4.1.1.2), (§ 4.1.1.3) şi (§ 4.1.3.3).

O metodă ce permite transmiterea simultană de coordonate şi orientări, simplificînd totodată modalitatea de legătură între reţeaua topografică de la suprafaţă cu operaţiile de proiectare şi legătura cu reţeaua topografică subterană este *metoda alinierii forţate*.

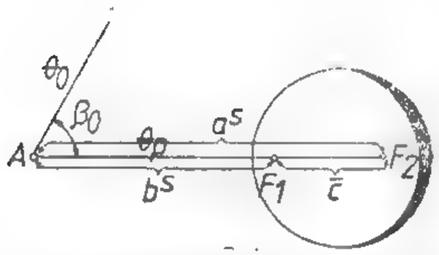


Fig. XV.42. Joncţiunea la suprafaţă prin aliniere forţată.

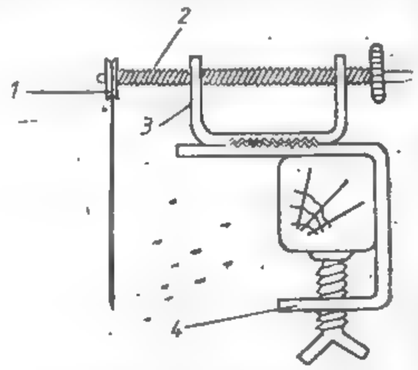


Fig. XV.43. Scripete glisant: 1—scripete; 2—şurub fără fine; 3—cameră ghidaj; 4—sistem de prindere.

La suprafaţă, aproximativ pe direcţia de transport a puţului, se încadrează un punct $A(x_A, y_A)$ cît mai îndepărtat de puţ şi cu posibilitatea de vizare a unei laturi de orientare θ_p cunoscute (fig. XV.42). Din acest punct trebuie să se poată viza două fire plasate coliniar cu punctul, în turnul puţului.

Firele lestate în puţ vor fi ghidate cu cîte un scripete glisant (fig. XV.43) prin deplasare laterală faţă de direcţia θ_p.

Scripetele glisant va fi manevrat de un figurant situat în turnul puţului şi va fi ghidat de operatorul din punctul A; pentru început va fi poziţionat firul depărtat F_1, iar apoi firul apropiat F_2. După terminarea acestei operaţii se vor măsura distanţele a, b şi $\bar{c}$ cu care se va face o primă verificare:

$$a^s = b^s + \bar{c} \tag{4.28}$$

Se vor calcula coordonatele firului F_1:

$$F_1 \begin{cases} x_1 = x_A + a^s \cos \theta_p \\ y_1 = y_A + a^s \sin \theta_p \end{cases} \tag{4.29}$$

eventual:

$$F_2 \begin{cases} x_2 = x_A + b^s \cos \theta_p \\ y_2 = y_A + b^s \sin \theta_p \end{cases} \tag{4.30}$$

Orientarea direcţiei (identică cu orientarea dintre fire) şi coordonatele firului sînt elemente ce vor rămîne aceleaşi şi pentru subteran (fig. XV.44).

În subteran va fi plasat, la o distanţă cît mai mare de firele lestate, un teodolit aşezat pe un trepied sau pe un dispozitiv de deplasare laterală a teodolitului. Se va determina, aşa cum s-a arătat, poziţia de echilibru a firelor, după care teodolitul va fi poziţionat pe direcţia θ_p, deci coliniar cu cele două fire F_2 şi F_1 lestate în secţiunea puţului. Acest lucru poate fi realizat prin măsurarea deplasării dintre vizarea firelor (fig. XV.45) tangente pe dreapta primului fir F_1 şi tangente pe stînga a acelaşi fir, poziţia medie reprezentînd situarea coliniară a teodolitului cu cele două fire, deci plasarea sa pe direcţia θ_p.

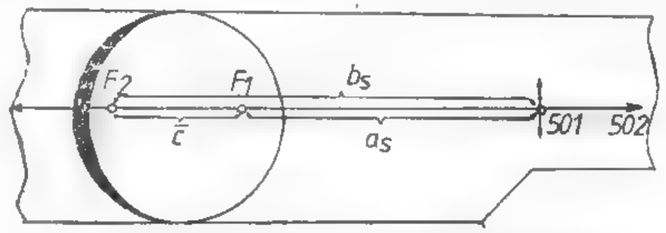


Fig. XV.44. Joncţiunea în subteran prin aliniere forţată.

Se măsoară distanţele a_s, b_s şi $\bar{c}$ şi se fac două verificări ale distanţei dintre fire $\bar{c}$ în subteran, astfel ca aceasta să fie identică cu distanţa $\bar{c}$ de la suprafaţă şi

$$b_s = a_s + \bar{c} \tag{4.31}$$

Orientarea θ_p va fi materializată în subteran prin plasarea a încă unui punct (⊙ 502) îndepărtat în faţa sau în spatele teodolitului.

Coordonatele punctului ⊙ 502 vor fi calculate din:

$$\begin{cases} x_{501} = x_1 + a_s \cos \theta_p = x_2 + b_s \cos \theta_p \\ y_{501} = y_1 + a_s \sin \theta_p = y_2 + b_s \sin \theta_p \end{cases} \tag{4.32}$$

Fig. XV.45. Poziţionarea teodolitului în aliniere forţată.

Această metodă, în aparenţă expeditivă, oferă o precizie destul de bună, cu condiţia executării corecte a operaţiilor.

4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării

Aparatul utilizat este *giroteodolitul* compus dintr-un giroscop — adaptat pentru lucrări topografice — ataşat ghidat pe direcţia de viză a unui teodolit de mare precizie. Giroscopul prezintă proprietatea că la o turaţie mai mare de 24 mii rot/min, asupra sa mai acţionează doar forţa de rotaţie a Pămîntului, fapt ce-i direcţionează axa de rotaţie după meridianul locului. În aceste condiţii întreg ansamblul giroscop-teodolit va indica pentru direcţia vizată orientarea geografică θ_G. Cum însă în topografie interesează orien-

tarea geodezică a direcţiilor topografice de lucru, va fi necesar să fie determinată, pentru bazinul minier respectiv, convergenţa de meridian γ ca diferenţă dute orientarea geografică θ_G şi orientarea geodezică θ respectiv :

$$\gamma_G = \theta_G - \theta \tag{4.33}$$

În acest caz pot fi utilizate cu bune rezultate două procedee.

Procedeul practic. Se alege un punct de triangulaţie $A(x_A, y_A)$ plasat aproximativ în centrul bazinului şi cu posibilităţi de viză lungă către un alt punct de triangulaţie $B(x_B, y_B)$. În punctul A se staţionează cu giroteodolitul, se calează şi se fac observaţii de determinare a orientării geodezice $\theta_{G_{AB}}$ a laturii— conform indicaţiilor prescriptuale a giroteodolitului utilizat. Se calculează din coordonate orientarea geodezică θ_{AB} a laturii vizate cu giroteodolitul.

Convergenţa de meridian va rezulta conform relaţiei cunoscute (4.33).

Procedeul analitic. Se calculează convergenţa de meridian din diferenţele de coordonate geodezice dintre centrul sistemului de coordonate şi un punct cunoscut din bazinul minier :

$$\gamma = (\lambda - \lambda_0) \sin\varphi$$

relaţie în care : λ este longitudinea punctului din centrul bazinului minier ; λ_0 — longitudinea originii sistemului de coordonate ; φ — latitudinea punctului din centrul bazinului minier.

Cunoscînd convergenţa de meridian (γ) — caracteristică bazinului minier respectiv — în subteran se va proceda astfel (fig. XV.46) :

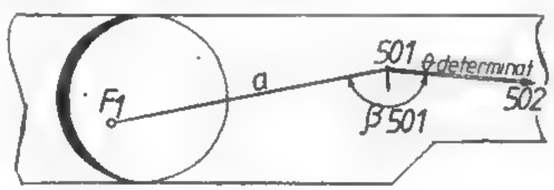


Fig. XV.46. Joncţiunea în subteran cînd se cunoaşte o orientare determinată.

Se va face staţie cu giroteodolitul într-un punct bine materializat ⊙ *501*, vizîndu-se un punct ⊙ *502*, determinîndu-se totodată orientarea geografică θ_G a laturii ⊙ *501* ⊙ *502*.

Orientarea geodezică a laturii ⊙ *501* ⊙ *502* — conform relaţiei — va fi :

$$\theta_{501,502} = \theta_{G_{501,502}} - \gamma$$

Pe puţul vertical de mină au fost deja proiectate coordonatele firului $F_1(x_1, y_1)$, iar cu teodolitul la care este ataşat giroscopul se măsoară unghiul β_{501}, unghi cu care se calculează împreună cu orientarea geodezică $\theta_{501,502}$ orientarea $\theta_{1,501} = \theta_{501,502} + \beta_{501} + 200^g$, măsurînd şi distanţa $a_{1,501}$, coordonatele punctului ⊙ *501* rezultă :

$$\odot\ 501 \begin{cases} x_{501} = x_1 + a\cos\theta_{1,501} \\ y_{501} = y_1 + a\sin\theta_{1,501} \end{cases} \tag{4.34}$$

Se realizează astfel materializarea în subteran, transmiterea atît a coordonatelor cît şi a orientării. Determinarea orientării se face cu o eroare de $\pm 30^{cc}$.

4.1.3. DRUMUIRI PLANIMETRICE SUBTERANE

Cunoscute şi sub denumirea de *poligonaţii subterane*, acestea sînt asemănătoare în mare, cu lucrările de acelaşi gen executate la suprafaţă. Ridicarea topografică a drumurilor subterane se face cu teodolite — cu posibilităţi de centrare sub punct — avînd o eroare de citire de cel mult $\pm 20^{cc}$ pe limbul gradat orizontal. De regulă, pentru transmiterea orientării sînt utilizate teodolite cu o precizie de citire la cercul gradat orizontal de $\pm 2^{cc}$, bine centrate în staţie cu o eroare mică de punctare, avînd în vedere că vizele sînt scurte. Unghiurile orizontale vor fi măsurate în ambele poziţii ale teodolitului, diferenţa între cele două măsurători nedepăşind cea mai mică diviziune de pe limbul gradat (p_a — precizia aparatului). Distanţele se măsoară direct în mină, cu rulete din oţel de cel puţin trei ori în ambele sensuri, diferenţa între măsurători să nu depăşească $\pm$ 1mm la 50 m $= \frac{1}{50\,000}$, luîndu-se media măsurătorilor.

Periodic va fi controlată poziţia reciprocă a punctelor fixe (principale, tari) din subteran — puncte de sprijin pentru poligonaţiile planimetrice — constatînd dacă reechilibrarea rocilor în urma creării golurilor subterane nu a afectat poziţia planimetrică a acestor puncte.

4.1.3.1. Poligonaţia cu două capete

— Prin *capăt de sprijin al unei poligonaţii* se defineşte ansamblul constituit dintr-un punct de coordonate cunoscute şi o orientare sprijinită pe aceasta, de asemenea cunoscută.

Drumuirea cu două capete (fig. XV.47) este sprijinită pe capătul iniţial constituit din punctul $A(x_A, y_A)$ cunoscut şi orientarea iniţială cunoscută θ_0, şi capătul final de închidere constituit din punctul $F(x_F, y_F)$ cunoscut şi orientarea de închidere sau finală θ_f.

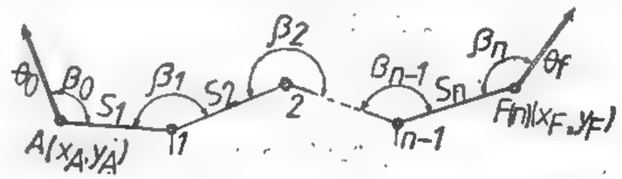


Fig. XV.47. Poligonaţia cu două capete.

Elementele măsurate sînt

— unghiurile $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots \beta_i, \ldots, \beta_{n-1}, \beta_n$ în total $(n + 1)$ unghiuri ;

— distanţele orizontale $s_1, s_2, \ldots, s_i, \ldots, s_{n-1}, s_n$; $[s]$ = lungimea desfăşurată a poligonaţiei.

Se calculează :

— orientările provizorii ;

— orientarea primei laturi notată către punctul vizat ;

$$\theta_{A1} = \theta_1' = \theta_0 + \beta_0$$

$$\theta_2' = \theta_0 + \beta_0 + \beta_1 + 200^g \tag{4.35}$$

$$\theta_i' = \theta_0 + [\beta]_0^{i-1} + (i-1)\,200^g$$

$$\theta_n' = \theta_0 + [\beta]_0^{n-1} + (n-1)\,200^g \tag{4.36}$$

— orientarea către punctul final F:

$$\theta_f' = \theta_0 + [\beta]_0^n + n \cdot 200^g \tag{4.37}$$

Datorită erorilor în măsurarea unghiurilor, va exista o neînchidere între orientarea finală cunoscută θ_f şi orientarea finală (provizorie) calculată:

$$W_\theta = \theta_f - \theta_f' \tag{4.38}$$

Dacă neînchiderea pe orientări W_θ se încadrează în toleranţa pe unghiuri dată de relaţia:

$$T_\beta = \pm 20^{cc} \sqrt{n+1} \quad \text{Dacă } W_\theta \leqslant T_\beta \tag{4.39}$$

atunci se poate proceda la compensarea pe orientări, proporţional cu numărul unghiurilor măsurate. Corecţia pe unghi măsurat va fi dată de:

$$C_\theta^0 = \frac{W_\theta}{n+1} \tag{4.40}$$

cu ajutorul căreia pot fi compensate orientările:

$$\theta_1 = \theta_1' + C_\theta^0 \tag{4.41}$$

$$\theta_2 = \theta_2' + 2C_\theta^0$$

$$\theta_i = \theta_i' + i\,C_\theta^0 \tag{4.42}$$

$$\theta_n = \theta_n' + n\,C_\theta^0$$

$$\theta_f = \theta_{f'} + (n+1)\,C_\theta^0 \tag{4.43}$$

relaţie ce verifică (4.38), (4.40).

Cu orientările compensate pot fi calculate coordonatele provizorii ale punctelor curente ale drumuirii:

$$\begin{cases} x_1' = x_A + s_1 \cos\theta_1 \\ y_1' = y_A + s_1 \sin\theta_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2' = x_A + s_1 \cos\theta_1 + s_2 \cos\theta_2 \\ y_2' = y_A + s_1 \sin\theta_1 + s_2 \sin\theta_2 \end{cases} \tag{4.44}$$

$$\begin{cases} x_i' = x_A + [s\cos\theta]^i \\ y_i' = y_A + [s\sin\theta]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_F' = x_n' = x_A + [s\cos\theta] \\ y_F' = y_n' = y_A + [s\sin\theta] \end{cases}$$

Datorită erorilor de măsurare a distanţelor vor exista neînchideri pe coordonate în punctul final:

$$W_x = x_F - x_F'; \quad W_y = y_F - y_F' \tag{4.45}$$

iar neînchiderea totală pe punct va fi:

$$W_{x,y} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \tag{4.46}$$

care dacă va fi sub toleranţă

$$T_{x,y} = \pm\left(0{,}003\sqrt{[s]} + \frac{[s]}{2600}\right) \geqslant W_{x,y} \tag{4.47}$$

va putea fi efectuată compensarea pe coordonate, proporţional cu lungimea parcursă pînă în punctul respectiv; astfel, corecţiile unitare vor fi date de:

$$C_x^0 = \frac{W_x}{[s]} \quad (4.48) \qquad C_y^0 = \frac{W_y}{[s]} \tag{4.49}$$

iar coordonatele compensate vor fi:

$$\begin{cases} x_1 = x_1' + s_1\,C_x^0 \\ y_1 = y_1' + s_1\,C_y^0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2 = x_2' + (s_1 + s_2)\,C_x^0 \\ y_2 = y_2' + (s_1 + s_2)\,C_y^0 \end{cases} \tag{4.50}$$

$$\begin{cases} x_i = x_i' + [s]^i\,C_x^0 \\ y_i = y_i' + [s]^i\,C_y^0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_F = x_n = x_n' + [s]\,C_x^0 \\ y_F = y_n = y_n' + [s]\,C_y^0 \end{cases} \tag{4.51}$$

relaţii ce verifică (4.45) şi (4.48).

Într-o astfel de poligonaţie poate fi uşor efectuat un studiu al erorilor de determinare a orientărilor şi coordonatelor cu ajutorul următoarelor relaţii :

$$M_{\theta_i} = \pm \frac{W_\theta}{n}\sqrt{i(n-i)} \tag{4.52}$$

$$M_{x_i} = \pm \frac{W_x}{[S]}\sqrt{[S]^i([S]-[S]^i)}$$

$$M_{y_i} = \pm \frac{W_y}{[S]}\sqrt{[S]^i([S]-[S]^i)} \tag{4.53}$$

4.1.3.2. Poligonaţia cu un cap de sprijin şi un punct de închidere

Are ca element iniţial un cap de sprijin format dintr-un punct A (x_A, y_A) şi o orientare iniţială θ_0, şi un punct de închidere $F(x_F, y_F)$ (fig. XV.48).

Vor fi măsurate următoarele elemente :

— unghiuri orizontale : $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_i \ldots, \beta_{n-1} = n$ unghiuri ;

— distanţe orizontale $s_1, s_2, \ldots, s_i, \ldots, s_{n-1}, s_n, = [s]$ lungimea orizontală desfăşurată a traseului.

Calculul va consta din stabilirea orientărilor provizorii cu relaţiile (4.35) şi (4.36), orientări ce nu pot fi compensate, neexistînd o orientare de închidere (o astfel de compensare poate fi efctuată dacă în prealabil s-a făcut măsurarea poligonaţiei de la F la A cu închidere pe orientarea iniţială θ_0).

Cu orientările provizorii vor fi calculate coordonatele provizorii cu relaţiile (4.44), neînchiderile pe coordonate (4.45), (4.46) comparate cu toleranţa pe coordonate (4.47) şi efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) şi (4.49).

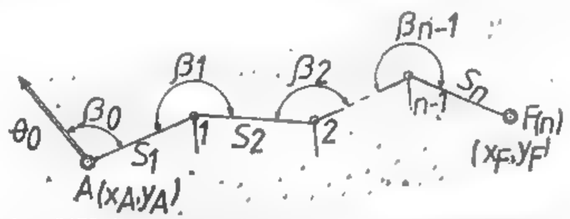


Fig. XV.48. Drumuirea cu un capăt sprijinit şi un punct de închidere.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relaţiile (4.51) şi (4.53).

4.1.3.3. Poligonaţia minieră

Cunoscută sub denumirea de poligonaţie minieră, *drumuirea minieră* este utilizată pentru constituirea unui traseu principal de sprijin la nivelul unui orizont, atunci cînd transmiterea de coordonate se face de la suprafaţă cu cîte un fir pe două puţuri verticale.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ şi punctul de capăt $F(x_F, y_F)$.

Elementele măsurate:

— unghiurile $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_i, \ldots, \beta_{n-1} = (n-1)$ unghiuri;

— distanţe orizontale $s_1, s_2, \ldots, s_i, \ldots, s_{n-1}, \ldots, s_n$, $[s]$ lungimea orizontală desfăşurată a poligonaţiei.

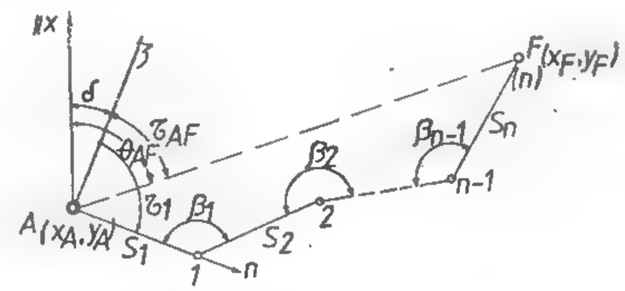


Fig. XV.49. Drumuirea minieră.

Necesitînd o orientare iniţială de sprijin în sistemul general (x, y), se face apel la un artificiu, alegîndu-se un sistem rectangular particular (ξ, η) plasat cu originea în primul punct al poligonaţiei cu o axă pe prima latură a poligonaţiei, astfel încît poligonaţia să se situeze pe cît posibil în primul cadran al sistemului particular. Conform figurii XV.49 se poate uşor observa că

$$\xi_A = 0;\ \eta_A = 0;\ \tau_1 = 100^g,\ (\text{sau } \tau_1 = 0^g)$$

Calculul orientărilor în sistemul particular

$$\begin{aligned}
\tau_1 &= 100^g \\
\tau_2 &= \tau_1 + \beta_1 + 200^g \\
\tau_i &= \tau_1 + [\beta]^{i-1} + (i-1)\,200^g \\
\tau_n &= \tau_1 + [\beta]^{n-1} + (n-1)\,200^g
\end{aligned} \tag{4.54}$$

cu aceste orientări particulare pot fi calculate coordonatele în sistemul particular:

$$\begin{cases} \xi_1 = \xi_A + s_1 \cos\tau_1 \\ \eta_1 = \eta_A + s_1 \sin\tau_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \xi_2 = \xi_A + s_1 \cos\tau_1 + s_2 \cos\tau_2 \\ \eta_2 = \eta_A + s_1 \sin\tau_1 + s_2 \sin\tau_2 \end{cases} \tag{4.55}$$

$$\begin{cases} \xi_i = \xi_A + [s\cos\tau]^i \\ \eta_i = \eta_A + [s\sin\tau]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \xi_F = \xi_A + [s\cos\tau] \\ \eta_F = \eta_A + [s\sin\tau] \end{cases}$$

Se observă că sînt cunoscute perechile de coordonate, atît în sistemul general x, y), cît şi în sistemul particular (ξ, η), ceea ce permite calculul unghiului de rotire dintre cele două sisteme. Astfel unind imaginar A cu F, se pot calcula orientările:

$$\mathrm{tg}\theta_{AF} = \frac{y_F - y_A}{x_F - x_A} \Rightarrow \theta_{AF} \tag{4.56}$$

$$\mathrm{tg}\tau_{AF} = \frac{\eta_F - \eta_A}{\xi_F - \xi_A} \Rightarrow \tau_{AF} \tag{4.57}$$

unghiul de rotire

$$\delta = \theta_{AF} - \tau_{AF} \qquad (\text{sau } \delta = \tau_{AF} - \theta_{AF}) \tag{4.58}$$

de unde:

$$\theta_i = \tau_i + \delta \qquad (\text{respectiv } \theta_i = \tau_i - \delta) \tag{4.59}$$

Ca atare, orientările în sistemul general ale laturilor poligonale vor fi:

$$\begin{array}{lcl} \theta_1 = \tau_1 + \delta & & (\theta_1 = \tau_1 - \delta) \\ \theta_2 = \tau_2 + \delta & & (\theta_2 = \tau_2 - \delta) \\ \dots\dots\dots\dots & & \dots\dots\dots\dots \\ \theta_i = \tau_i + \delta & \text{sau} & (\theta_i = \tau_i - \delta) \\ \dots\dots\dots\dots & & \dots\dots\dots\dots \\ \theta_F = \tau_F + \delta & & (\theta_F = \tau_F - \delta) \end{array} \tag{4.60}$$

cu care pot fi calculate coordonatele provizorii în sistem general utilizînd relaţiile (4.44), apoi neînchiderile pe coordonate în punctul F cu relaţiile (4.45), (4.46), care vor fi comparate cu toleranţa pe coordonate (4.47) şi efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) şi (4.49).

Un alt procedeu de calcul a coordonatelor în sistem general după găsirea unghiului de rotire (4.58), (4.59), este *procedeul transcalculului de coordonate* utilizînd relaţiile corespunzătoare; astfel pentru (4.68)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos\delta + \eta_i \sin\delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin\delta + \eta_i \cos\delta \end{cases} \tag{4.61}$$

iar pentru (5.69)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos\delta - \eta_i \sin\delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin\delta + \eta_i \cos\delta \end{cases} \tag{4.62}$$

Calcul care nu prezintă controlul unitar asupra punctelor poligonale şi nici compensarea coordonatelor.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relaţiile corespunzătoare (4.51) şi (4.53).

4.1.3.4. Poligonaţia flotantă

Cunoscută şi sub denumirea de *poligonaţie suspendată*, poligonaţia flotantă (fig. XV.50) are un singur capăt de sprijin format dintr-un punct A (x_A, y_A) de coordonate cunoscute şi o orientare sprijinită pe aceasta θ_0, de asemenea cunoscută.

Acest tip de poligonaţie este des utilizat în subteran, mai ales în cazul lucrărilor de străpungere.

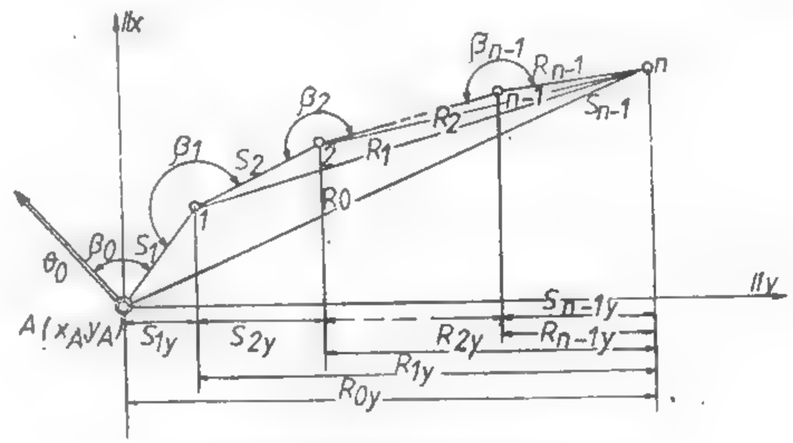


Fig. XV.50. Poligonaţia flotantă.

Elementele cunoscute sînt:
— punctul A (x_A, y_A) şi orientarea iniţială de sprijin θ_0.
Elementele măsurate:
— unghiurile β_0, β_1, β_2, ..., β_i, ..., β_{n-1}, în total n unghiuri;
— distanţele s_1, s_2, ..., s_i, ..., s_n, lungimea orizontală desfăşurată a traseului [s].
Elementele calculate sînt:
— orientările provizorii prin intermediul relaţiilor (4.35) şi (4.36) cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele provizorii ale poligonaţiei flotante, prin intermediul relaţiilor (4.44).

Necesitînd un control asupra punctului suspendat n, din drumuirea flotantă se efectuează fie remăsurarea şi calculul poligonaţiei înapoi către punctul iniţial de sprijin pe acelaşi traseu, fie pe aceleaşi puncte, fie pe alte puncte, transformînd astfel poligonaţia într-o *poligonaţie cu două capete* (poligonaţie în circuit închis), punctul final fiind corectat cu jumătate din neînchiderea provenită prin parcurgerea dublă a traseului.

Studiul erorilor pe orientări şi pe coordonate în poligonaţia flotantă se face prin metoda grafoanalitică. În acest sens se raportează poligonaţia flotantă pe un plan la o scară cît mai mare (1/200 — 1/100), adăugîndu-se eventual şi străpungerea ce va fi efectuată. Se împart porţiunile rectilinii în segmente mai mici de 50 m (ruleta pentru măsurarea distanţelor are lungimea maximă de 50 m) indicînd noile puncte poligonale, iar curbele de racordare vor fi descompuse după planul de trasare în coardele corespunzătoare de trasare prin punctele intermediare de conducere în curbă a lucrării în săpare. Din punctul final n al poligonaţiei flotante vor fi trasate, către toate punctele poligonale, raze vectoriale care vor fi proiectate pe axele de coordonate. Vor fi, în

continuare, măsurate şi trecute în tabelul următor proiecţiile distanţelor dintre puncte şi ale razelor vectoare pe ambele axe de coordonate (tabelul XV.3).

La tabel vor fi efectuate ridicările la pătrat şi însumările corespunzătoare, cu ajutorul cărora vor fi calculate următoarele erori:

Tabelul XV.3

Proiecţiile distanţelor şi ale razelor vectoare

	S_x	S_x^2	R_x	R_x^2	S_y	S_y^2	R_y	R_y^2
A	—	—	R_{0x}	R_{0x}^2	—	—	R_{0y}	R_{0y}^2
1	S_{1x}	S_{1x}^2	R_{1x}	R_{1x}^2	S_{1y}	S_{1y}^2	R_{1y}	R_{1y}^2
2	S_{2x}	S_{2x}^2	R_{2x}	R_{2x}^2	S_{2y}	S_{2y}^2	R_{2y}	R_{2y}^2
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
$n-1$	S_{n-1x}	S_{n-1x}^2	R_{n-1x}	R_{n-1x}^2	S_{n-1y}	S_{n-1y}^2	R_{n-1y}	R_{n-1y}^2
n	S_{nx}	S_{nx}^2	—	—	S_{ny}	S_{ny}^2	—	—
[ ]	—	$[S_x^2]$	—	$[R_y^2]$	—	$[S_y^2]$	—	$[R_y^2]$

— eroarea datorită orientării iniţiale:

● pe axa x-ilor

$$M_{\theta_{0x}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{cc}} R_{0y} \tag{4.63}$$

relaţie în care m_{θ_0} este eroarea în determinarea orientării iniţiale, eroare care este dată de relaţia:

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \rho^{cc} \tag{4.64}$$

în care: $m_{x,y}$ este eroarea totală de încadrare a punctului vizat, care pentru minerit se ia $\pm$ 15 cm; D — lungimea vizei;

● pe axa y-ilor

$$M_{\theta_{0y}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{cc}} R_{0x}, \tag{4.65}$$

iar eroarea totală pe orientări va fi:

$$M_{\theta_0} = \pm \sqrt{M_{\theta_{0x}}^2 + M_{\theta_{0y}}^2} \tag{4.66}$$

— eroarea datorită unghiurilor măsurate:

● pe axa x-ilor

$$M_{\beta_x} = \pm \frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \sqrt{[R_y^2]} \tag{4.67}$$

în care: m_β este eroarea în măsurarea unui singur unghi; $m_\beta = \pm(2-5)\, p_a$ (factorul 2—5 se aplică astfel: 2 pentru aparate cu $p_a \pm 50^{cc}$ şi 5 pentru aparate cu $p_a \pm 2^{cc}$);

● pe axa y-ilor

$$M_{\beta_y} = \pm \frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \sqrt{[R_x^2]}, \tag{4.68}$$

iar abaterea totală datorită unghiurilor va fi:

$$M_\beta = \pm \sqrt{M_{\beta_x}^2 + M_{\beta_y}^2} \tag{4.69}$$

— eroarea datorită distanţelor măsurate va fi:

● pe axa x-ilor

$$M_{s_x} = \pm f \sqrt{[S_x^2]} \tag{4.70}$$

unde $f = \pm \frac{1}{3000-5000}$ eroarea în măsurarea distanţelor pentru subteran; (4.71)

● pe axa y-ilor

$$M_{s_y} = \pm f \sqrt{[S_y^2]}; \tag{4.72}$$

— eroarea totală datorită măsurătorii distanţelor va fi:

$$M_s = \pm \sqrt{M_{s_x}^2 + M_{s_y}^2} \tag{4.73}$$

Cunoscînd eroarea de încadrare a punctului iniţial A, m_{Ax}, m_{Ay}, eroarea totală

● pe axa x-ilor va fi:

$$M_x = \pm \sqrt{m_{Ax}^2 + M_{\theta_{0x}}^2 + M_{\beta_x}^2 + M_{s_y}^2} \tag{4.74}$$

● pe axa y-ilor va fi:

$$M_y = \pm \sqrt{m_{Ay}^2 + M_{\theta_{0y}}^2 + M_{\beta_y}^2 + M_{s_y}^2} \tag{4.75}$$

iar eroarea totală va fi:

$$M_{x,y} = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \tag{4.76}$$

În cazul străpungerilor front-contrafront, studiul abaterilor punctuale se face asupra ambelor poligonaţii flotante, rezultînd diferenţiat erorile din ambele sensuri, care vor fi calculate separat pe axe în punctul de străpungere.

Cum însă la o străpungere interesează mai mult erorile longitudinale-transversale, poligonației i se ataşează un sistem particular longitudinal-transversal (exemplu u, v), sistem în care se va face studiul asemănător sistemului general.

4.1.3.5. Rețea planimetrică nodală

Este constituită din mai multe trasee cu capete sprijinite, comune într-un punct de intersecție denumit *punct nodal*. În rețeaua planimetrică nodală (fig. XV.51) sînt cunoscute elementele topografice de sprijin constituite dintr-un punct de coordonate cunoscute și o orientare de sprijin.

$$A(x_A,\ y_A),\ \theta_A;\ B(x_B,\ y_B),\ \theta_B;\ \text{și}\ C(x_C,\ y_C),\ \theta_C$$

Elementele măsurate:

— unghiuri: traseul I $\beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}, \ldots, \beta_{1i} = (i+1)$ unghiuri;

traseul II $\beta_{20}, \beta_{21}, \beta_{22}, \ldots, \beta_{2j} = (j+1)$ unghiuri;

traseul III $\beta_{30}, \beta_{31}, \beta_{32}, \ldots, \beta_{3k} = (k+1)$ unghiuri;

— distanțe: traseul I: $s_{10}, s_{12}, \ldots, s_{1i}$; $[s]^i$ lungimea desfășurată a primului traseu;

traseul II: $s_{21}, s_{22}, \ldots, s_{2j}$; $[s]^j$ lungimea desfășurată a celui de al doilea traseu;

traseul III: $s_{31}, s_{32}, \ldots, s_{3k}$; $[s]^k$ lungimea desfășurată a celui de al treilea traseu.

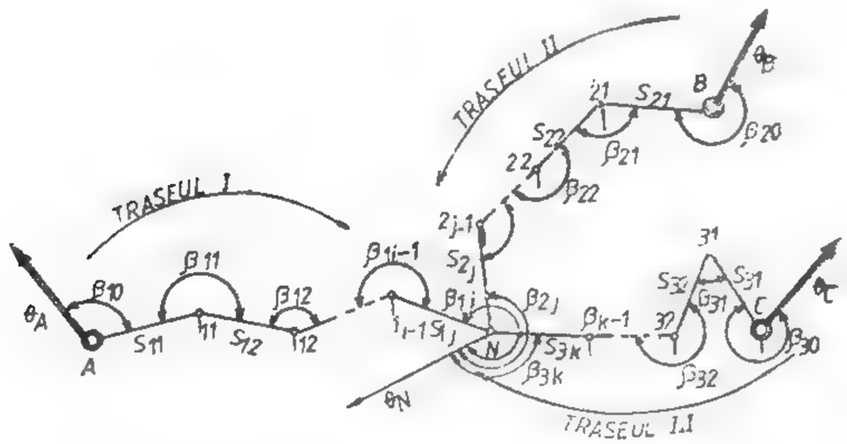


Fig. XV.51. Rețea planimetrică subterană.

Se calculează orientările provizorii pe fiecare traseu cu relațiile (4.2) și (4.3), rezultînd, pentru orientarea θ_N din punctul nodal, trei valori corespunzătoare traseului pe care au fost calculate:

$$\theta_N^{\mathrm{I}} = \theta_A + [\beta_1]_0^i;\quad \theta_N^{\mathrm{II}} = \theta_B + [\beta_2]_0^j;\quad \theta_N^{\mathrm{III}} = \theta_C + [\beta_3]_0^k. \tag{4.77}$$

Cea mai probabilă valoare a orientării din punctul nodal va fi media ponderată a celor trei determinări, coeficienții de pondere vor fi corespunzători numărului de unghiuri ce au fost măsurate pe fiecare traseu în parte:

$$p_\beta^{\mathrm{I}} = \frac{1}{i+1};\quad p_\beta^{\mathrm{II}} = \frac{1}{j+1};\quad p_\beta^{\mathrm{III}} = \frac{1}{k+1}. \tag{4.78}$$

atunci

$$\theta_N = \frac{p_\beta^{\mathrm{I}}\,\theta_N^{\mathrm{I}} + p_\beta^{\mathrm{II}}\,\theta_N^{\mathrm{II}} + p_\beta^{\mathrm{III}}\,\theta_N^{\mathrm{III}}}{p_\beta^{\mathrm{I}} + p_\beta^{\mathrm{II}} + p_\beta^{\mathrm{III}}}. \tag{4.79}$$

Se face compensarea pe fiecare traseu conform relațiilor (4.37)—(4.43), obținîndu-se orientările compensate pe întreaga rețea nodală, orientări cu care vor fi calculate coordonatele provizorii pentru fiecare traseu în parte cu relațiile (4.44), inclusiv coordonatele punctului nodal corespunzător pentru fiecare traseu poligonal în parte, rezultînd:

$$\begin{cases} x_N^{\mathrm{I}} = x_A + [s_1 \cos\theta_1]^i \\ y_N^{\mathrm{I}} = y_A + [s_1 \sin\theta_1]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_N^{\mathrm{II}} = x_B + [s_2 \cos\theta_2]^j \\ y_N^{\mathrm{II}} = y_B + [s_2 \sin\theta_2]^j \end{cases} \tag{4.80}$$

$$\begin{cases} x_N^{\mathrm{III}} = x_C + [s_3 \cos\theta_3]^k \\ y_N^{\mathrm{III}} = y_C + [s_3 \sin\theta_3]^k \end{cases}$$

Cele mai probabile valori ale coordonatei x (4.82) și ale coordonatei y (4.83) vor fi date de media aritmetică ponderată a celor trei valori corespunzătoare celor trei trasee, cu coeficienții de pondere rezultați din inversul lungimii fiecărui traseu.

$$p_{x,y} = \frac{1}{[s]^i}\qquad p_{x,y} = \frac{1}{[s]^j}\qquad p_{x,y} = \frac{1}{[s]^k} \tag{4.81}$$

$$x_N = \frac{p_{x,y}^{\mathrm{I}} x_N^{\mathrm{I}} + p_{x,y}^{\mathrm{II}} x_N^{\mathrm{II}} + p_{x,y}^{\mathrm{III}} x_N^{\mathrm{III}}}{p_{x,y}^{\mathrm{I}} + p_{x,y}^{\mathrm{II}} + p_{x,y}^{\mathrm{III}}} \tag{4.82}$$

5, respectiv

$$y_N = \frac{p_{x,y}^{\mathrm{I}} y_N^{\mathrm{I}} + p_{x,y}^{\mathrm{II}} y_N^{\mathrm{II}} + p_{x,y}^{\mathrm{III}} y_N^{\mathrm{III}}}{p_{x,y}^{\mathrm{I}} + p_{x,y}^{\mathrm{II}} + p_{x,y}^{\mathrm{III}}} \tag{4.83}$$

Între coordonatele punctului nodal astfel calculate și coordonatele provizorii va exista o diferență (conform 4.45 și 4.46) care dacă va îndeplini condiția de toleranță (4.47) va fi repartizată tuturor punctelor pe fiecare traseu în parte, conform cu (4.48) și (4.49).

Studiul abaterilor pe orientări și punctuale se va face cu ajutorul relațiilor (4.50)—(4.53).

4.1.3.6. Reţea planimetrică acolată

Această reţea planimetrică este des întîlnită în subteran la nivelul unui orizont de mină, fiind constituită dintr-un număr de ochiuri poligonale închise adiacente (fig. XV.52), avînd comun atît laturi (*BD*, *Dd*, *de* etc.) cît şi puncte poligonale (*d*, *e*, *k* etc.) şi nodale (*A*, *B*, *C*, *D*).

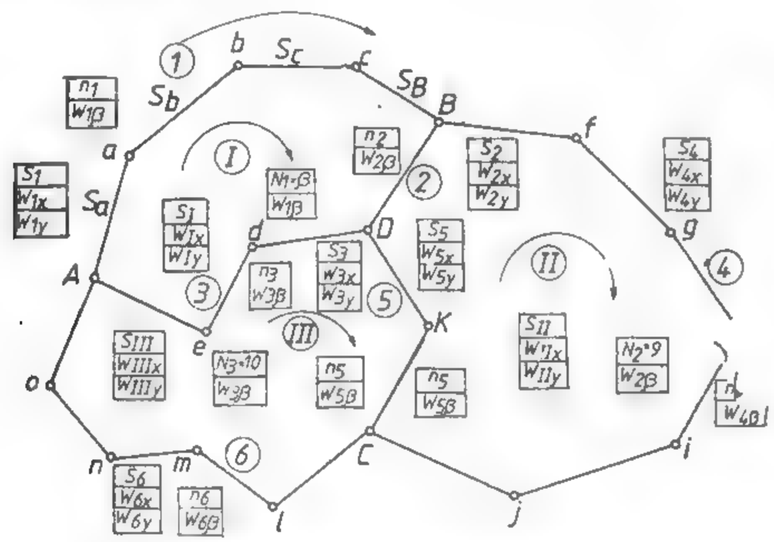


Fig. XV.52. Reţea planimetrică acolată.

Elementele măsurate sînt: direcţii — din diferenţa cărora vor rezulta unghiuri şi — distanţe orizontale, corespunzătoare fiecărei laturi poligonale.

Alegînd o orientare cunoscută sau arbitrară, vor fi calculate orientările provizorii, cu relaţiile cunoscute (4.45), (4.46) în fiecare ochi în parte, după sensul general de parcurgere.

Suma orientărilor (direcţii inverse sau duble) în fiecare ochi poligonal ar trebui să fie nulă, dar datorită erorilor de măsurare va exista corespunzător o neînchidere pe orientări.

$$W_{I\beta} = [\theta']_I \qquad W_{I\beta} = (N_I - 2)\cdot 200^g - [\beta]_I$$
$$W_{II\beta} = [\theta']_{II} \quad \text{sau:} \quad W_{II\beta} = (N_{II} - 2)\cdot 200^g - [\beta]_{II} \tag{4.83}$$
$$W_{III\beta} = [\theta']_{III} \qquad W_{III\beta} = (N_{III} - 2)\cdot 200^g - [\beta]_{III}$$

Rezultă un număr de ecuaţii de condiţii corespunzătoare numărului de ochiuri, Acest sistem al ecuaţiilor de condiţii va fi redus la un sistem normal de ecuaţii *Gauss*), corelat specific măsurătorilor condiţionate ponderate. Coeficienţii de pondere vor fi funcţie de numărul de unghiuri măsurate (numărul de laturi dublu orientate).

$N_1 = 4 =$ numărul laturilor dublu orientate pe secţiunea AB,

$N_2 = 1$; $N_3 = 3$; $N_I = n_I + n_2 + n_3 = 8 =$ numărul de laturi dublu orientate în ochiul poligonal I $\equiv$ cu numărul total de unghiuri măsurate în primul ochi.

$$N_4 = 5;\ N_5 = 2;\ N_{II} = N_2 + N_4 + N_5 = 9$$
$$N_6 = 5;\ N_{III} = N_3 + N_5 + N_6 = 10 \tag{4.84}$$

Notînd cu $K_{1\beta}$, $K_{2\beta}$, K^0_β — corelatele corespunzătoare fiecărui ochi, sistemul normal se poate scrie după următoarea regulă: pe diagonala principală în mod corespunzător numărul total de orientări pe ochi cu semn pozitiv, ceilalţi coeficienţi vor fi negativi, corespunzător cu numărul de laturi dublu orientate.

Ochi	Corelata I	Corelata 2	Corelata 3	
Ochiul I	$N_1K_{I\beta}$	$-N_2K_{II\beta}$	$-N_3K_{III\beta}$	$+ W_{1\beta} = 0$
Ochiul II	$-N_2K_{I\beta}$	$+N_{II}K_{II\beta}$	$-N_5K_{III\beta}$	$+ W_{2\beta} = 0$ (4.85)
Ochiul III	$-N_3K_{I\beta}$	$-N_5K_{II\beta}$	$+N_{III}K_{III\beta}$	$+ W_{3\beta} = 0$

conform figurii sistemul scris pe diagonală va fi:

$$\begin{cases} 8K_{I\beta} - K_{II\beta} - 3K_{III\beta} + W_{I\beta} = 0 \\ 9K_{II\beta} - 2K_{III\beta} + W_{2\beta} = 0 \\ 10K_{III\beta} + W_{3\beta} = 0 \end{cases} \tag{4.85'}$$

Se va rezolva sistemul (4.84) prin una din metodele cunoscute, rezultînd mărimile corelatelor: $K_{I\beta}$, $K_{II\beta}$, $K_{III\beta}$.

Corecţiile pe direcţii sau orientări sînt date de următoarele relaţii:

— pentru latură exterioară corecţia este egală cu mărimea şi de semnul corelatei ochiului de care aparţine

$$\text{(exemplu pentru latura } ab,\ v_{ab} = K_{I\beta}) \tag{4.86}$$

— pentru latură adiacentă corecţia este dată de diferenţa dintre corelatele (cu semnele corespunzătoare) celor două ochiuri adiacente

$$\text{(exemplu } v_{de} = K_{I\beta} - K_{III\beta}) \tag{4.87}$$

Corecţiile vor fi aplicate orientărilor provizorii calculate anterior, rezultînd orientările definitive.

Cu aceste orientări se vor calcula relativele pe x şi pe y pentru fiecare latură a traseului, plecînd dintr-un punct de coordonate cunoscute sau alese arbitrar. Se va calcu suma relativelor pe secţiunea AB;

$$\Delta' x_{Aa} + \Delta' x_{ab} + \Delta' x_{bc} + \Delta' x_{cB} = [\Delta x]_A^B$$
$$\Delta' y_{Aa} + \Delta' y_{ab} + \Delta' y_{bc} + \Delta' y_{cB} = [\Delta y]_A^B \tag{4.88}$$

— lungimea desfăşurată:

$$s_a + s_b + s_c + s_d = [S]_A^B = S_1 \tag{4.89}$$

în mod similar:

$$[\Delta' x]_B^D;\ [\Delta' y]_B^D;\ [S]_B^D = S_2$$

$$[\Delta' x]_D^A;\ [\Delta' y]_D^A;\ [S]_D^A = S_3 \qquad (4.90)$$

iar lungimea totală a ochiului I este:

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_I$$

în mod asemănător:

$$[\Delta' x]_B^C;\ [\Delta' y]_B^C;\ [S]_B^C = S_4$$

$$[\Delta' x]_C^D;\ [\Delta' y]_C^D;\ [S]_C^D = S_5$$

$$S_2 + S_4 + S_5 = S_{II} \qquad (4.91)$$

$$[\Delta' x]_C^A;\ [\Delta' y]_C^A;\ [S]_C^A = S_6$$

$$S_3 + S_5 + S_6 = S_{III} \qquad (4.92)$$

Se vor calcula neînchiderile pe coordonate în fiecare ochi în parte, ţinînd cont de semnul general de parcurgere al traseului:

$$W_{1x} = [\Delta' x]_A^B + [\Delta' x]_B^D + [\Delta' x]_D^A$$

$$W_{2x} = [\Delta' x]_B^C + [\Delta' x]_C^D + [\Delta' x]_D^B \qquad (4.93)$$

$$W_{3x} = [\Delta' x]_C^A + [\Delta' x]_A^D + [\Delta' x]_D^C$$

şi în mod similar:

$$W_{1y} = [\Delta' y]_A^B + [\Delta' y]_B^D + [\Delta' y]_D^A$$

$$W_{2y} = [\Delta' y]_B^C + [\Delta' y]_C^D + [\Delta' y]_D^B \qquad (4.94)$$

$$W_{3y} = [\Delta' y]_C^A + [\Delta' y]_A^D + [\Delta' y]_D^C$$

Se scriu sistemele normale *Gauss*, corespunzătoare măsurătorilor condiţionate ponderate, după următoarele reguli: pe diagonala principală coeficienţii corelatelor vor fi pozitivi şi vor avea ca mărime lungimea totală desfăşurată a ochiului; ceilalţi coeficienţi vor fi negativi şi vor avea lungimea secţiunii corespunzătoare laturii adiacente dintre corelată şi ochiul de reţea.

$$\begin{cases} \text{Ochiul I} & +S_1K_{Ix} & -S_2K_{IIx} & -S_3\ K_{IIIx} + W_{Ix} = 0 \\ \text{Ochiul II} & -S_2K_{IIx} & +S_{II}K_{IIx} & -S_5\ K_{IIIx} + W_{2x} = 0 \\ \text{Ochiul III} & -S_3K_{Ix} & -S_5K_{IIx} & +S_{III}K_{IIIx} + W_{3x} = 0 \end{cases} \qquad (4.95)$$

K_I K_{II} K_{III}

şi în mod similar pentru axa y-ilor

$$\begin{matrix} +S_IK_{Iy} & -S_2K_{IIy} & -S_3K_{IIIy} & +W_{1y} = 0 \\ -S_2K_{Iy} & +S_{II}K_{IIy} & -S_5K_{IIIy} & +W_{2y} = 0 \\ -S_3K_{Iy} & -S_5K_{IIy} & +S_{III}K_{IIIy} & +W_{3y} = 0 \end{matrix} \qquad (4.96)$$

Se rezolvă sistemele (4.95) şi (4.96), rezultînd corelatele K_{Ix}, K_{IIx}, K_{IIIx} şi respectiv K_{Iy}, K_{IIy}, K_{IIIy}, cu ajutorul cărora vor fi calculate corecţiile totale pe fiecare secţiune a traseului acolat după următoarele reguli:

— pentru secţiune exterioară, corecţia totală a secţiunii este dată de produsul dintre lungimea secţiunii, cu semnul sensului de calcul al relativei în raport cu suma generală de parcurgere a drumuirii acolate şi corelata corespunzătoare ochiului respectiv.

$$\text{ex. } W_{1x} = S_1 \cdot K_{Ix} \text{ şi respectiv: } W_{1y} = S_1 \cdot K_{Iy} \qquad (4.97)$$

— pentru secţiune comună a două ochiuri corecţia totală a secţiunii rezultă ca produsul dintre lungimea secţiunii comune şi diferenţa dintre corelate, luate în ordinea scrierii corelatelor.

$$\text{ex: } W_{2x} = S_2(K_{Ix} - K_{IIx}) \text{ şi respectiv: } W_{2y} = S_2(K_{Iy} - K_{IIy}) \qquad (4.98)$$

Cunoscînd corecţiile totale pe secţiuni se va face compensarea pe relative, calculînd pe fiecare secţiune corecţiile unitare:

$$C_{ix}^0 = \frac{W_{ix}}{S_i};\quad C_{iy}^0 = \frac{W_{iy}}{S_i} \qquad (4.99)$$

exemplu:

$$C_{1x} = \frac{W_{1x}}{S_1};\quad C_{1y} = \frac{W_{1y}}{S_1} \qquad (4.100)$$

— corecţiile pe relative:

$$v_{jx} = [S]^j C_{ix}^0;\ v_{jy} = [S]^j C_{iy}^0 \qquad (4.101)$$

exemplu:

$$v_{Aax} = s_a \cdot C_{1x}^0;\ v_{Aay} = s_a \cdot C_{1y}^0$$

$$v_{abx} = (s_a + s_b)C_{1x}^0;\ v_{aby} = (s_a + s_b)C_{1y}^0$$

$$v_{bCx} = (s_a + s_b + s_c)C_{1x}^0;\ v_{bcy} = (s_a + s_b + s_c)C_{1y}^0$$

$$v_{oBx} = S_1 \cdot C_{1x}^0 = W_{1x};\ v_{cBy} = S_1 \cdot C_{1y}^0 = W_{2y}$$

corecţii ce se aplică relativelor calculate provizoriu

$$\Delta jx = \Delta'_{jx} + v_{jx};\quad \Delta_{jy} = \Delta'_{jy} + v_{jy} \qquad (4.102)$$

exemplu:

$$\Delta x_{Aa} = \Delta' x_{Aa} + v_{Aa}x;\quad \Delta y_{Aa} = \Delta' y_{Aa} + v_{Aa}y$$

$$\Delta x_{ab} = \Delta' x_{ab} + v_{ab}x;\quad \Delta y_{ab} = \Delta' y_{ab} + v_{ab}y$$

$$\Delta x_{bc} = \Delta' x_{bc} + v_{bc}x;\quad \Delta y_{bc} = \Delta' y_{bc} + v_{bc}y \qquad (4.103)$$

$$\Delta x_{cB} = \Delta' x_{cB} + v_{cB}x;\quad \Delta y_{cB} = \Delta' y_{cB} + v_{cB}y$$

Obţinînd astfel relativele compensate, care se vor adăuga la coordonatele unui singur punct cunoscut, vor rezulta coordonatele definitive pentru întreg traseul poligonal acolat.

4.2. NIVELMENT SUBTERAN

Scopul nivelmentului este de a determina înălţimea diferitelor puncte topografice de nivelment în raport cu o suprafaţă unică de referinţă pentru cote, necesare reprezentării lucrărilor miniere cunoscute ca poziţie planimetrică.

Dat fiind caracterul definit al sistemului de cote în raport cu sistemul de coordonate, reţeaua nivelitică este de regulă separată de reţeaua planimetrică, dar pe aceleaşi lucrări miniere.

Nivelmentul face parte integrantă din sistemul de referinţă al bazinului minier, fapt ce impune unicitatea atît la suprafaţă cît şi în subteran. În acest scop este necesară legarea unitară a cotelor punctelor topografice de la suprafaţă cu punctele subterane.

4.2.1. TRANSMITEREA COTELOR ÎN SUBTERAN

Transmiterea cotelor se face în subteran pe gurile de acces în subteran, deosebind în acest sens două categorii de lucrări: galeria de coastă şi puţul vertical de mină.

Transmiterea cotelor pe galeria de coastă. Reperele de nivelment necesare materializării sistemului de referinţă la suprafaţa bazinului minier sînt marcate fie prin borne de beton de cote cunoscute (prin nivelment geometric de la mijloc, de mare precizie, din reţeaua naţională de nivelment), fie prin repere nivelitice pe clădiri (de aceeaşi precizie).

În cazul accesului în subteran pe galerie de coastă sau plan înclinat (fig. XV.53), cota se transmite în subteran prin nivelment geometric de la mijloc.

Se cunoaşte cota H_A a reperului de nivelment A. La mijlocul distanţei ($d < 200$) pînă la punctul *501* unde se transmite cota H_{501}, se staţionează cu o nivelă. Reperul

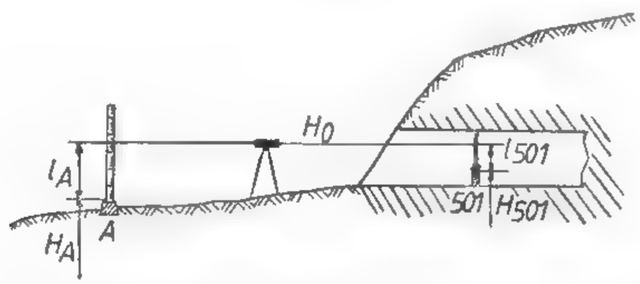


Fig. XV.53. Transmiterea cotelor pe galerie de coastă.

de nivelment A şi punctul din subteran *501* vor fi semnalizate cu mire parlante aparţinătoare nivelei, mire pe care vor fi făcute lecturile l_A, respectiv l_{501}.

Cota orizontului:

$$H_0 = H_A + l_A \tag{4.104}$$

Cota punctului *501*:

$$H_{501} = H_0 - l_{501} \text{ sau } H_{501} = H_0 + l_A - l_{501} \tag{4.105}$$

Se observă că diferenţa de nivel

$$h_{501\,A,} = H_{501} - H_A \quad (4.106) \quad \text{sau} \quad h_{501,\,A} = l_A - l_{501} \quad (4.107)$$

Transmiterea cotelor pe puţul vertical de mină. Se face funcţie de aparatura existentă, condiţiile ce le oferă puţul respectiv şi destinaţia datelor obţinute. Sînt cunoscute mai multe metode:

Transmiterea cotei cu panglica se execută astfel: din turnul puţului unde se montează bobina cu panglica de 100, 250 sau 500 m, se lansează panglica lestată în secţiunea puţului degrevat momentan la transport şi aeraj. La suprafaţă se cunoaşte un reper de nivelment A, prin cota H_A, care va fi semnalizat cu o mică corespunzătoare aparatului de nivelat cu care se fac citirile atît pe mică (l_A) cît şi pe panglică (b).

În subteran se staţionează cu nivela la jumătatea distanţei dintre reperul nivelitic a cărui cotă va fi determinată, reper semnalizat printr-o mică parlantă corespunzătoare aparatului pe care se va face lectura l_{501} şi panglica lestată în puţ, pe care se face lectura a. Din fig. XV.54 se observă că înălţimea brută (cota) punctului *501* rezultă din:

$$H'_{501} = H_A + l_A - (l - a) + l_{501} \quad (4.108)$$

cotă căreia trebuie să i se aducă corecţiile corespunzătoare adîncimii puţului: de temperatură (C_t) şi de tensiune (C_p).

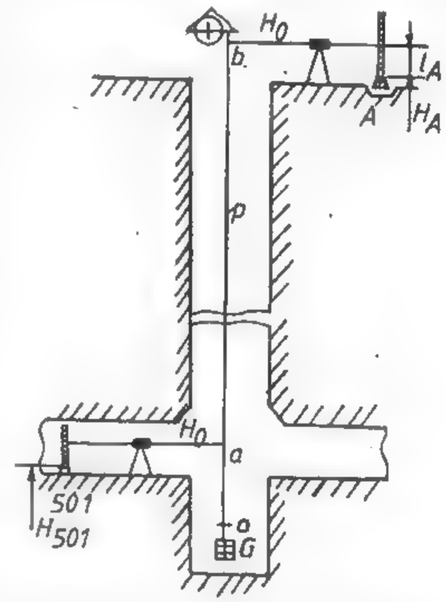


Fig. XV.54. Transmiterea pe puţ a cotei cu panglică specială.

$$H_{501} = H'_{501} + C_t + C_p \tag{4.109}$$

Corecţia de temperatură este o funcţie de temperatura de lucru t, care se ia ca medie

$$t = \frac{t^0 + t_s}{2} \tag{4.110}$$

a temperaturii de la gura puţului t^0 şi temperatura pe puţ t_s, la orizontul la care se determină cota; temperatura de etalonare a ruletei este de obicei 20°, şi lungimea măsurată pe panglică ($b - a$).

$$C_t = (b - a) \cdot (t^\circ - 20^\circ) \cdot 0{,}0115 \tag{4.111}$$

Corecţia de alungire a firului este funcţie de masa specifică a oţelului ($\gamma = 7{,}8$ kg/dm³), modulului de elasticitate a oţelului ($E = 2 \cdot 10^6$ daN/cm²) şi lungimea l desfăşurată a ruletei.

$$C_p = \frac{\gamma \cdot 1000}{10\,E} \cdot (b - a) \cdot \left(l - \frac{b - a}{2}\right) \tag{4.112}$$

Transmiterea cotei cu ruleta se face în cazul absenței panglicilor speciale. La aplicarea metodei (fig. XV.55) vor participa doi operatori topografi: primul (O_1) va lua loc pe acoperișul coliviei puțului, fiind asigurat cu centură de siguranță, iar cel de al doilea (O_2) va fi plasat într-o chiblă, pe funia coliviei, la o înălțime aproximativ egală cu lungimea ruletei și va ține capătul de zero al ruletei.

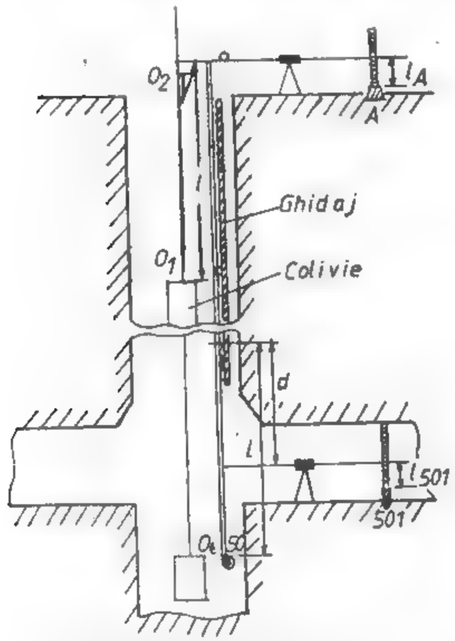


Fig. XV.55. Transmiterea pe puț a cotelor cu ruletă.

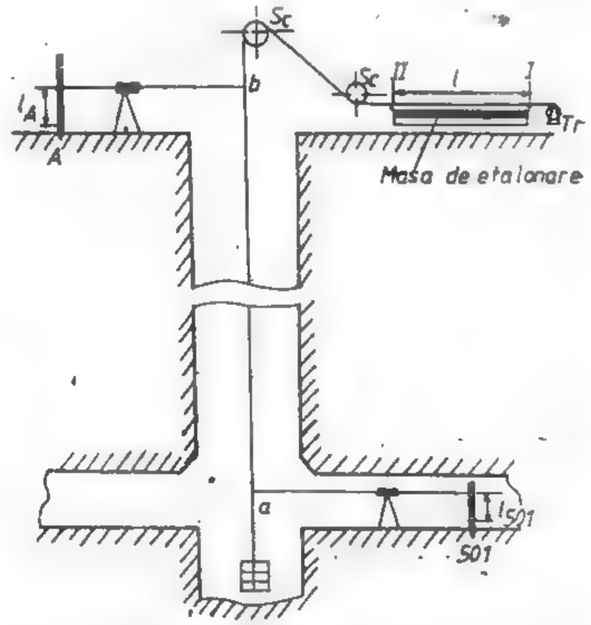


Fig. XV.56. Transmiterea pe puț a cotelor cu firul lestat.

Operația de măsurare începe de sus în jos, prin coborîrea coliviei cu mașina de extracție și opriri la intervale aproximativ egale cu lungimea ruletei. Cei doi operatori vor măsura lungimi egale cu lungimea ruletei (l), lungimi marcate de operatorul (O_1) prin baterea unor cuie reper pe același ghidaj al puțului. La orizontul la care se transmite cota va fi vizată ultima citire pe ruleta d. Înălțimea măsurată $(b - a)$:

$$(b - a) = n \cdot l + d \tag{4.113}$$

relație în care n reprezintă numărul de rulete întregi măsurate.

Cota provizorie H'_{501} a punctului *501* va fi dată de relația (4.108). Influența variației tensiunii de întindere și de alungire este neglijabilă, va fi aplicată numai corecției de temperatură C_t (4.110), (4.111). Cota definitivă va fi:

$$H_{501} = H'_{501} + C_t \tag{4.114}$$

Transmiterea cotei utilizînd fire lestate. Poate utiliza un fir folosit anterior la proiectarea mecanică a coordonatelor, făcînd o amenajare suplimentară (fig. XV.56), constînd din instalarea unei mese de etalonare, prin fața căreia să treacă firul la înmagazinarea sa.

Prin măsurători de nivelment se vizează pe fir, la suprafață, un punct b care se marchează prin crestare, vopsire sau cositorire, iar în subteran se vizează un punct a care se marchează asemănător.

Se trage firul din puț pe troliul *Tr* ghidat pe scripete *Sc* prin fața mesei de etalonare. La capătul *I* al mesei de etalonare se aduce semnul b de pe fir, în dreptul capătului *II* se așază o agrafă de măsurare, se depozitează firul în continuare pe troliu, pînă agrafa ajunge în *I*, punîndu-se o nouă agrafă în *II* și așa mai departe înregistrîndu-se numărul (n) de treceri a lungimii l (a etalonului) pe fir, măsurîndu-se și ultima porțiune cu ajutorul unei rulete. Lungimea:

$$(b - a) = n \cdot l + d \tag{4.115}$$

Cota provizorie H'_{501} a punctului de nivelment *501* este dată de (4.108), cotă asupra căreia va fi adusă doar corecția de temperatură după relațiile (4.110), (4.111), rezultînd cota definitivă H_{501} dată de relația (4.114).

4.2.2. METODE DE NIVELMENT SUBTERAN

Nivelmentul subteran, ca principii de utilizare a metodelor, nu se deosebește de cel de la suprafață, decît prin modul de plasare al reperelor de nivelment. Materializarea reperelor de nivelment subteran se face în peretele lateral al galeriei, opus spațiului de circulație, la o înălțime de circa 30 cm față de vatră sau coroana șinei, prin repere metalice speciale pentru punctele principale și prin platbande pentru punctele curente de nivelment.

Metoda nivelmentului geometric de la mijloc. Este aplicată pe lucrările miniere cu pantă mică.

Reperul *501* de cotă cunoscută H_{501} este semnalizat printr-o mică parlantă, ca și punctul *502* a cărui cotă se cere a fi determinată (fig. XV.57).

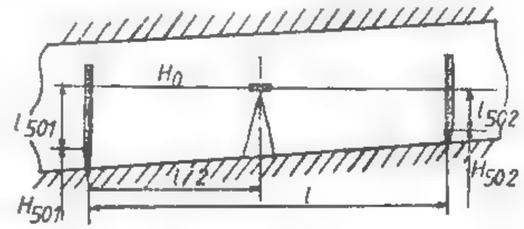


Fig. XV.57. Nivelment geometric de la mijloc în subteran.

Aparatul de nivelat va fi amplasat aproximativ la jumătatea distanței ($d < 200$ m) dintre cele două puncte. Se vizează mira din punctul *501* și se face lectura l_{501} și apoi mira din *502* și se face lectura l_{502}.

Cota orizontului:

$$H_0 = H_{501} + l_{501} \tag{4.116}$$

Cota punctului *502*;

$$H_{502} = H_0 - l_{502} \tag{4.117}$$

sau

$$H_{502} = H_{501} + l_{501} - l_{502}. \tag{4.118}$$

Diferența de nivel dintre cele două repere

$$h_{502-501} = H_{502} - H_{501} \qquad (4.119)$$

$$h_{502-501} = l_{501} - l_{502} \qquad (4.120)$$

Pentru un traseu nivelitic, se procedează asemănător pentru fiecare niveleu în parte.

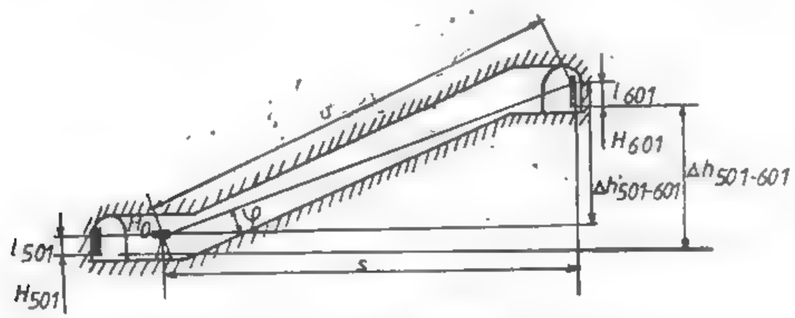


Fig. XV.58. Nivelment trigonometric subteran

Metoda nivelmentului trigonometric. Este aplicată în cazul planelor înclinate cu pantă mare, în imposibilitatea aplicării nivelmentului geometric de la mijloc.

Reperul cunoscut *501* se semnalizează cu o miră parlantă. Cu un teodolit se face stație într-un punct cu vizibilitatea înspre ambele puncte. Cu luneta orizontală se vizează reperul cunoscut *501*, făcîndu-se lectura l_{501} (fig. XV.58).

Cota orizontului va fi:

$$H_0 = H_{501} + l_{501}$$

Se vizează apoi mira ce semnalizează punctul *601*, făcîndu-se lectura l_{501}, citindu-se și unghiul vertical φ. Cunoscînd distanța orizontală *s* sau măsurînd distanța înclinată *d*, poate fi calculată diferența de nivel $\Delta h'_{501,601}$ între teodolit și viza pe miră:

$$\Delta h'_{501,601} = s \cdot \mathrm{tg}\, \varphi \qquad (4.121)$$

sau

$$\Delta h'_{501,601} = d \cdot \sin \varphi \qquad (4.122)$$

atunci diferența de nivel dintre punctele *501* și *601* va fi:

$$\Delta h_{501,601} = l_{501} + \Delta h'_{501,601} - l_{601}$$

Pentru simplificarea relației se alege ca lectură pe miră înainte din *601* egală lectura din viza înapoi către *501*

$$l_{601} = l_{501} \qquad (4.123)$$

astfel încît:

$$\Delta h'_{501,601} = \Delta h_{501,502} \qquad (4.124)$$

Cota punctului *601*;

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + s\, \mathrm{tg}\, \varphi - l_{601} \qquad (4.125)$$

sau

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + d \sin \varphi - l_{601} \qquad (4.126)$$

dar respectînd condiția (5.123):

$$H_{601} = H_{501} + s\, \mathrm{tg}\, \varphi \qquad (4.127)$$

respectiv

$$H_{601} = H_{501} + d \sin \varphi \qquad (4.128)$$

În cazul cînd condițiile subterane impun utilizarea teodolitului cu ambele vize înclinate, atunci relația se modifică în consecință.

Nivelmentul în trepte. Cunoscut și sub numele de *nivelment prin stafilare*, după denumirea instrumentului ce se utilizează, nivelmentul în trepte este aplicat în lucrările miniere de formă neregulată, cu diferențe mari de nivel, cazuri imposibile de soluționat prin nivelment geometric de la mijloc. Stafilatorul este construit din două rigle gradate (1—1,5 m) (fig. XV.59), perpendiculare între ele, cu posibilități de glisare. Dispozitivul, la utilizare, va avea rigla orizontală orizontalizată cu o nivelă cu bulă de aer (boloboc) sau riglă verticală, verticalizată cu un fir cu plumb.

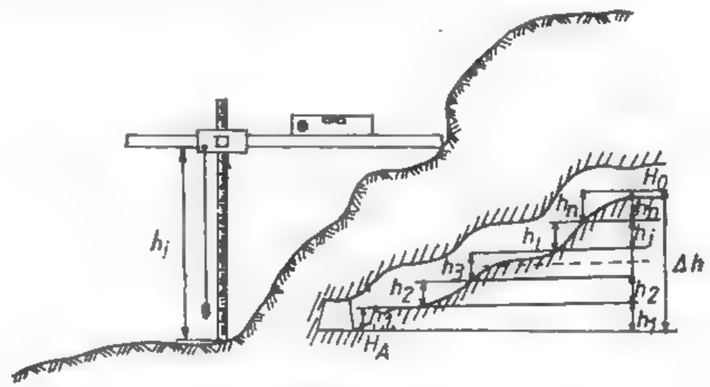


Fig. XV.59. Nivelment subteran în trepte.

Diferența de nivel dintre două puncte h_i va fi citită pe rigla culisabilă verticală, în dreptul reperului aflat pe glisieră.

Diferența totală va fi stabilită prin însumarea diferențelor de nivel parțiale.

$$\Delta h_{AB} = [h] \qquad (4.129) \qquad\qquad H_B = H_A + \Delta h_{AB} \qquad (4.130)$$

4.2.3. TRASEE NIVELITICE SUBTERANE

Definirea spațială a rețelei subterane de lucrări miniere se face și prin poziționarea pe înălțime a tuturor punctelor caracteristice, unitar legate între ele prin trasee de nivelment de bună precizie.

După modul de constituire (forma lucrărilor miniere), sînt utilizate în subteran mai multe tipuri de trasee de nivelment:

Drumuire de nivelment geometric de la mijloc. Este formată din puncte nivelitice subterane în care, cunoscînd cota unui punct prin nivelment geometric de la mijloc, pot fi determinate cotele celorlalte puncte în mod succesiv. Pe lîngă aceste puncte mai pot fi calculate totodată şi cotele unor puncte în afara traseului. În cazul cînd se cunoaşte cota unui punct de închidere, poate fi efectuată o compensare corespunzătoare a traseului nivelitic cu procedeu şi relaţii corespunzătoare.

Măsurătorile, calculele şi schiţa traseului sînt înscrise în formulare corespunzătoare (tabelul XV.4).

Se calculează neînchiderea W_H la capătul drumuirii, în punctul *508*, unde cota H_{508} se cunoaşte

$$W_H = H_{508} - H'_{508} = 426{,}549 - 426{,}524 = +25 \text{ mm}$$

care se compară cu toleranţa T_H dată de:

$$T_H = \pm 50 \text{ mm}\sqrt{[d]} \text{ km} = \pm 27 \text{ mm}$$

Deoarece neînchiderea $W_H \leqslant T_H$, atunci poate fi efectuată compensarea pe cote. Se calculează corecţia unitară:

$$C_H^0 = \frac{W_H}{[d]} = \frac{25 \text{ mm}}{297{,}6} = 0{,}084 \ \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

corecţie ce se aplică proporţional cu lungimea traseului parcurs, conform tabelului XV.4, tabel în care se observă că au fost incluse şi puncte radiate cu vize de „mijloc".

Reţea nivelitică nodală. În general, reţeaua nivelitică nodală nu se deosebeşte de acelaşi gen de reţea rezolvată planimetric (§ 4.1.3.5).

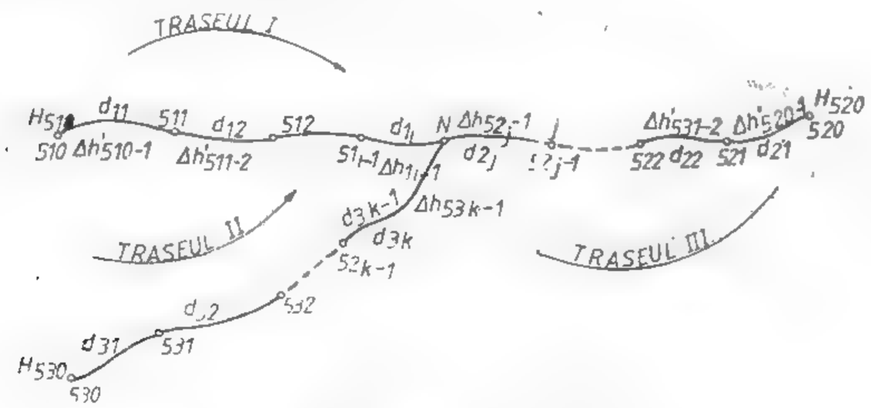


Fig. XV.60. Reţea nivelitică nodală.

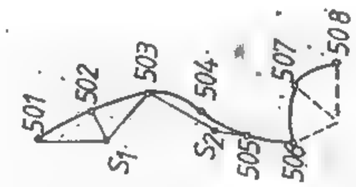
Elementele cunoscute sînt cotele punctelor de capăt H_{510}, H_{520}, H_{530} (fig. XV.60).

Elementele măsurate sînt diferenţele de nivel între punctele curente ale fiecărui traseu, cu ajutorul cărora prin nivelment geometric de la mijloc sau nivelment trigo-

Tabelul XV.4

Compensarea drumuirii de nivelment geometric

Punct		Citiri pe mică			Cota orizont	Cota H' relativă	Corecţii C	Cotă H definitivă	Distanţa		Schiţa
staţie	vizat	înapoi	mijloc	înainte					pe porţiuni	cumulată	
	501	1,157						424,191			
S_1	502		0,921		425,348	424,427	+0,003	424,427	31,10		
	503			0,427		424,921	+0,008	424,927	39,3	70,4	
	503	1,814				424,921					
S_2	504		1,111		426,735	426,624	+0,010	426,634	45,8	116,2	
	505		1,092			425,643	+0,010	425,656	38,2	154,4	
	506			0,824		425,911	+0,018	425,929	61,2	215,6	
	506	1,428				425,911					
S_3	507		0,928		427,339	426,411	+0,021	426,432	31,8	247,4	
	508			0,815		426,524	+0,025	426,549	50,2	297,6	



nometric se calculează cotele necompensate ale punctelor curente pe trasee şi a punctului nodal N. Va rezulta deci pe:

traseul 10 $H'_H = H_{510} + [\Delta h_1]^{i}_{0}$; lungimea traseului $[d]^{i}_{10}$

traseul 20 $H''_N = H_{520} + [\Delta h_2]^{j}_{0}$; lungimea traseului $[d]^{j}_{20}$

traseul 30 $H'''_N = H_{530} + [\Delta h_3]^{k}_{0}$; lungimea traseului $[d]^{k}_{30}$

Coeficienţii de pondere:

Traseul	Lungimea	Nivelment geometric	Nivelment trigonometric
I	$[d]^{i}_{10}$	$p'_N = \dfrac{1}{[d]^{i}_{10}}$	$p'_N = \dfrac{1}{\{[d]^{i}_{10}\}^2}$
II	$[d]^{j}_{20}$	$p''_N = \dfrac{1}{[d]^{j}_{20}}$	$p''_N = \dfrac{1}{\{[d]^{j}_{20}\}^2}$ (4.131)
III	$[d]^{k}_{30}$	$p'''_N = \dfrac{1}{[d]^{k}_{30}}$	$p'''_N = \dfrac{1}{\{[d]^{k}_{30}\}^2}$

Cea mai probabilă valoare a cotei punctului nodal N va fi media aritmetică ponderată:

$$H_N = \frac{p'_N \cdot H'_N + p''_N \cdot H''_N + p'''_N \cdot H'''_N}{p'_N + p''_N + p'''_N} \tag{4.132}$$

Se calculează neînchiderea pe cotă, pe fiecare traseu, după relaţia (4.133)

$$W'_N = H_N - H'_N;\ W''_N = H_N - H''_N;\ W'''_N = H_N - H'''_N \tag{4.133}$$

cu ajutorul cărora vor fi calculate corecţiile unitare pe cote, pe fiecare traseu, cu relaţia (4.134)

$$C^{0'}_N = \frac{W_H}{[d]^{i}_{0}};\ C^{0''}_N = \frac{W_H}{[d]^{j}_{0}};\ C^{0'''}_N = \frac{W_H}{[d]^{k}_{0}} \tag{4.134}$$

şi apoi vor fi compensate cotele provizoriu calculate, proporţional cu lungimea traseului parcurs:

$$H_{11} = H'_{11} + d_{11}C^{10}_N$$

$$H_{12} = H'_{12} + (d_{11} + d_{12})C^{10}_N \tag{4.135}$$

$$H_N = H'_N + [d]^{i}_{0}C^{10}_N$$

şi în mod similar pe celelalte trasee.

Reţea nivelitică acolată. Este construită din ochiuri adiacente de nivelment (fig. XV.61).

Se cunoaşte cota unui singur punct aparţinînd reţelei nivelitice acolate. Se măsoară diferenţele de nivel dintre punctele curente aparţinînd fiecărei secţiuni în parte,

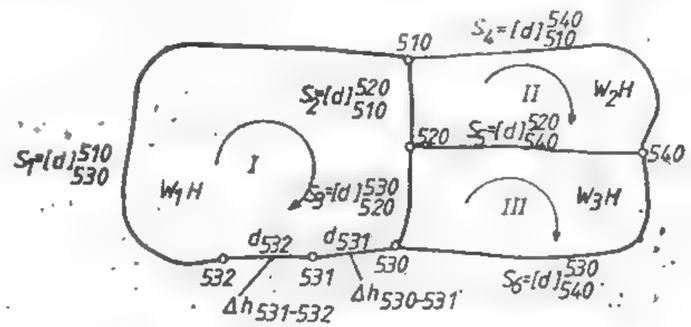


Fig. XV.61. Reţea nivelitică acolată.

diferenţe de nivel ce se însumează după sensul general al traseului acolat. Astfel vor rezulta:

$$[\Delta h']^{510}_{530};\ [\Delta h']^{520}_{510};\ [\Delta h']^{530}_{520};\ [\Delta h']^{540}_{510};\ [\Delta h']^{520}_{540};\ [\Delta h']^{530}_{540}$$

Ca mod de rezolvare se urmăreşte modul de compensare pe coordonate a reţelei planimetrice acolate (§ 4.1.3.6).

Se calculează lungimea fiecărei secţiuni S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 şi lungimea fiecărui ochi în parte:

$$S_I = S_1 + S_2 + S_3$$

$$S_{II} = S_2 + S_4 + S_5 \tag{4.136}$$

$$S_{III} = S_3 + S_5 + S_6$$

Se calculează neînchiderile pe cote în fiecare ochi în parte:

$$W_{1H} = [\Delta h']^{510}_{530} + [\Delta h']^{520}_{510} + [\Delta h']^{530}_{520}$$

$$W_{2H} = [\Delta h']^{520}_{510} + [\Delta h']^{540}_{510} + [\Delta h']^{520}_{540} \tag{4.137}$$

$$W_{2H} = [\Delta h']^{530}_{520} + [\Delta h']^{520}_{540} + [\Delta h']^{530}_{540}$$

Cum coeficienţii de pondere sînt funcţie tot de lungimea traseului parcurs, se ţine cont de aceleaşi considerente după care au fost scrise sistemele (4.95) şi (4.96) rezultînd astfel:

$$S_1K_{IH} - S_2K_{IIH} - S_3K_{IIIH} + W_{1H} = 0$$

$$-S_2K_{IH} + S_{II}K_{IIH} - S_5K_{IIIH} + W_{2H} = 0 \tag{4.138}$$

$$-S_3K_{IH} - S_5K_{IIH} + S_{III}K_{IIIH} + W_{3H} = 0$$

Sistem care, rezolvat, va oferi valorile corelatelor K_{IH}, K_{IIH} şi K_{IIIH} cu ajutorul cărora vor fi calculate corecţiile totale pe fiecare secţiune în parte, conform consideraţiilor de la reţeaua planimetrică acolată şi anume:

— pentru secţiunea marginală de contur, corecţia totală este dată de produsul dintre lungimea secţiunii şi corecţia corespunzătoare ochiului respectiv: ex.

$$W_{1H} = S_1 \cdot K_{IH} \tag{4.139}$$

— pentru secţiunea comună, corecţia totală pe secţiune este dată de produsul dintre lungimea secţiunii şi diferenţa dintre corelatele celor două ochiuri adiacente, luate ca semn după sensul general al întregului traseu: ex.

$$W_{2H} = S_2(K_{IH} - K_{IIH}) \tag{4.140}$$

Corecţiile totale astfel rezultate vor fi repartizate tuturor diferenţelor de nivel corespunzătoare secţiunii respective în raport cu lungimea traseului parcurs. Corecţia unitară pe secţiune este dată de:

$$C^0_{iH} + \frac{W_{iH}}{S_i} \tag{4.141}$$

ex.

$$C^0_{1H} = \frac{W_{1H}}{S_1}$$

cu ajutorul căreia se calculează corecţia corespunzătoare pe diferenţa de nivel:

$$v_{jH} = [d]^j C^0_{iH} \tag{4.142}$$

$$v_{530-531} = d_{530-531} \cdot C^0_{1H}$$

$$v_{531-532} = (d_{531} + d_{532}) C^0_{1H}$$

$$v_{510} = S_1 C^0_{1H} \tag{4.143}$$

iar diferenţele de nivel compensate vor fi:

$$h_{530-531} = h'_{530-531} + v_{530-531}$$

$$h_{531-532} = h'_{531-532} + v_{531-532} \tag{4.144}$$

$$h_{510} = h'_{510} + v_{510}$$

Se procedează în mod asemănător pe toate secţiunile. Cunoscînd diferenţele de nivel compensate, se pot uşor calcula cotele definitive aferente întregii reţele nivelitice acolate.

4.3. RIDICAREA DE DETALII ÎN SUBTERAN

Întocmirea completă a planurilor şi hărţilor topografice, evidenţierea deformări lucrărilor miniere şi rectificarea acestora, stabilirea cantităţilor şi volumelor de producţie în subteran necesită lucrări topografice de ridicări de detalii.

4.3.1. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE

O lucrare minieră, din punctul topografic al măsurătorilor, calculelor şi reprezentărilor grafice se reduce la axa lucrării miniere, care se defineşte ca intersecţia dintre planul vertical de simetrie (VV) şi planul orizontal (HH), situat la înălţimea de 1 m faţă de coroana şinei (fig. XV.62).

Ridicările topografice de detaliu vor fi făcute în condiţiile identificării acestei axe, raportate la sistemul topografic de sprijin subteran (fig. XV.63).

Pe lucrarea minieră vor fi semnalizate punctele topografice ⊙ *501* şi ⊙ *502*, cu ajutorul unor fire cu plumb pe lîngă care se întinde o ruletă (I) la înălţimea de 1 m faţă de coroana şinei. Prin metoda ordonatelor şi absciselor la intervalele de 1 m,

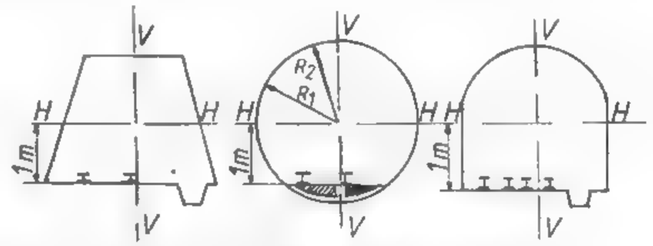


Fig. XV.62. Planele şi axele de simetrie ale unor lucrări miniere orizontale.

5 m, 10 m, se vor măsura distanţele de la perete la ruleta (I) făcînd citirile: zero la un perete, a_i la ruletă (I) şi b_i la cel de al doilea perete. Planul de detaliu al galeriei se obţine raportînd măsurătorile la reţeaua topografică cunoscută, prin unirea

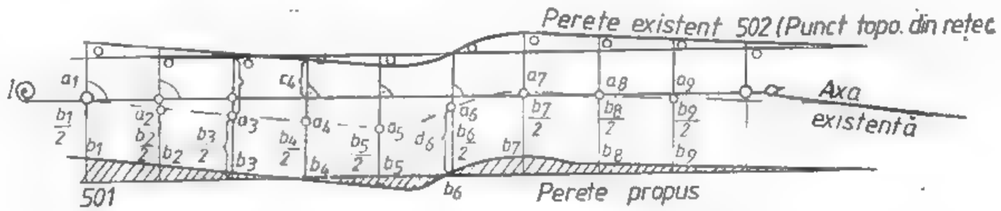
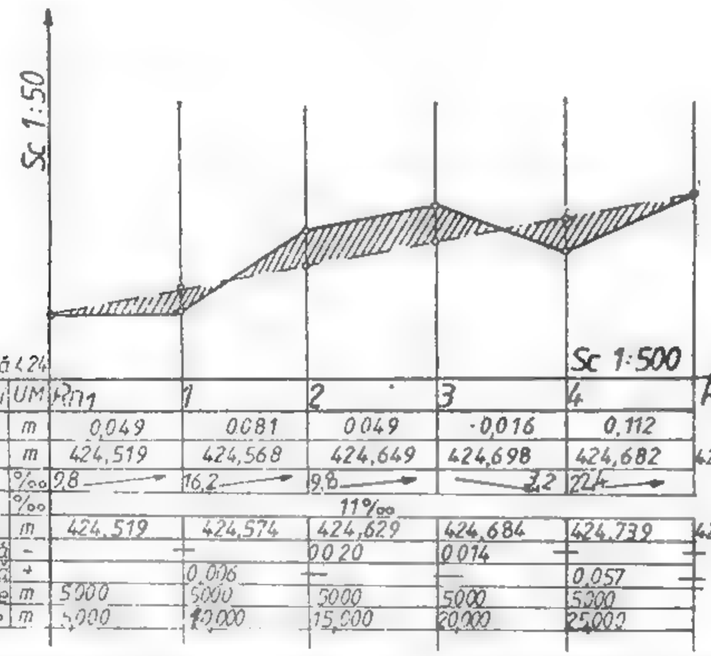


Fig. XV.63. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale.

punctelor de acelaşi fel. Axa reală a lucrării miniere se găseşte la poziţia $b_i/2$ pentru fiecare secţiune. Pentru eventuala rectificare a galeriei se trasează noua axă şi conturul pereţilor, după care vor fi măsurate grafic, în fiecare secţiune, distanţele propuse de la pereţii laterali faţă de ruleta (I): c_i stînga şi d_i dreapta.

Nivelitic, ridicarea topografică se face prin întocmirea unui profil longitudinal la nivelul coroanei şinei sau, în lipsa acesteia, la nivelul vetrei lucrării miniere. Ca element de sprijin este utilizat un reper de nivelment din reţeaua nivelitică de sprijin, iar ridicarea nivelitică se face funcţie de gradul de detaliu impus, utilizînd nivelmentul geometric cu o echidistanţă de 5 m sau 10 m.



Denumirea punctului	UM	Rn1	1	2	3	4	Rn2
Diferenţe de nivel	m	0,049	0081	0049	-0,016	0,112	
Cota punctului	m	424,519	424,568	424,649	424,698	424,682	424,794
Panta existentă	‰	9,8	16,2	9,8	3,2	22,4	
Panta proiectată	‰	11‰					
Cota proiectată	m	424,519	424,574	424,629	424,684	424,739	424,794
Secţiuni săpătură	-		—	0020	0014	—	—
Secţiuni umplutură	+		0,006	—	—	0,057	—
Distanţe între repere	m	5000	5000	5000	5000	5000	
Distanţe cumulate	m	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000	

Fig. XV.64. Profil longitudinal de detaliu printr-o lucrare minieră orizontală.

În baza măsurătorilor executate, se va întocmi profilul longitudinal al lucrării miniere (fig. XV.64).

Cînd se impune şi ridicarea topografică a tavanului lucrării miniere, se execută nivelmentul geometric de la mijloc, cu mira la tavan, în aceleaşi secţiuni în care se face nivelmentul pentru vatră, întocmindu-se un profil longitudinal dublu, cu grafic şi rubrici corespunzătoare vatră-tavan.

4.3.2. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Puţul vertical de mină este definit, din punct de vedere constructiv, printr-o axă verticală rezultată prin intersecţia a două plane verticale de simetrie. În secţiune, puţul se caracterizează printr-o serie de axe după cum urmează (fig. XV.65):

— (*I, I*) (*II, II*) axele secundare de transport rezultate din unirea mijloacelor ghidajelor perechi;

— (*III, III*) axa principală de transport ca medie a celor două axe secundare;

— (*IV, IV*) axa principală longitudinală a puţului ce cuprinde centrul geometric (*C*) al puţului;

— (*V, V*) axa transversală a puţului (simetrică).

Axa principală de transport (*III, III*) este paralelă cu axa principală longitudinală (*IV, IV*) a puţului şi se găseşte la distanţa *m* — decalajul axelor; *E* — centrul de extracţie; E_I şi E_{II} — centrele secundare de transport.

Prin ridicarea de detaliu în lucrarea minieră verticală (puţul vertical de mină) se urmăreşte întocmirea, în baza măsurătorilor topografice, a planului de detaliu al secţiunilor succesive ale puţului pe întreaga sa înălţime.

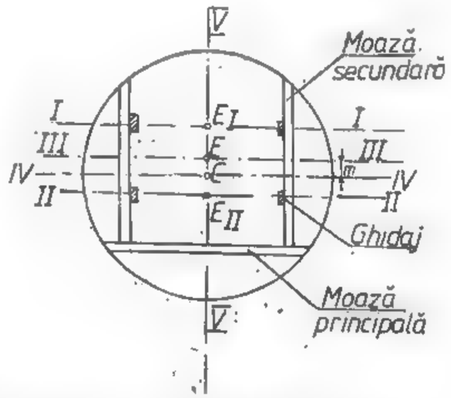


Fig. XV.65. Axele puţului vertical de mină.

După gradul de detaliu impus, se stabilesc pe înălţimea puţului o serie de secţiuni de ridicat (releveu) alese la echidistanţe de 5, 10 sau 20 m de la gura înspre jompul puţului. Operaţia de măsurare pe puţ se execută degrevînd momentan puţul de transport, iar operatorii topografi vor lucra pe colivia unui compartiment al puţului, (cealaltă colivie va fi suspendată în turnul puţului), colivie ce va coborî şi opri la fiecare secţiune de releveu. În prima fază, vor fi fixate reperele de sprijin (*A, B, C, D*) (de la gura puţului înspre jomp) în pereţii puţului, pentru fiecare secţiune, în locuri uşor accesibile. Măsurătorile vor consta în (fig. XV.66) poziţionarea reciprocă a reperelor principale prin măsurarea tuturor distanţelor posibile (*ab, ac, ad, bc, bd, cd*). Faza a II-a va consta în ridicarea de detalii în raport cu reperele principale (*ABCD*), din jomp înspre gura puţului, a tuturor punctelor caracteristice: capetele moazelor (*a, b, c, d, e, f*), ghidajelor (g_1, g_2, g_3, g_4), neregularităţi ale puţului (*n, p*), — metoda utilizată fiind intersecţia distanţelor. Vor fi măsurate cel puţin două distanţe de la punctul de detaliu *a* la reperele de sprijin (*aB, aC*) (a_tD, g_tB) (*nB, nC*),

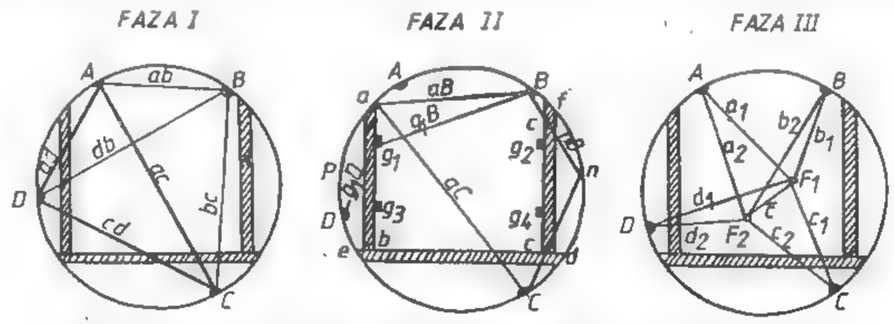


Fig. XV.66. Ridicarea detaliilor în puţul vertical de mină.

În faza a III-a se va poziţiona fiecare secţiune în raport cu un sistem unic constînd din două fire metalice F_1, F_2 lestate în secţiunea coliviei suspendată momentan din circulaţie. Se măsoară toate distanţele posibile dintre reperele de sprijin (*A, B, C, D*) şi cele două fire (F_1, F_2) şi, de asemenea, distanţa dintre fire e pentru control.

În baza acestor măsurători vor fi întocmite planurile topografice ale secţiunilor la o scară cît mai mare (max. 1:20). Secţiunea zero (S_0) de la gura puţului va fi întocmită pe hîrtie de calc. Ordinea operaţiilor este oarecum inversă operaţiilor de măsurare şi anume:

Se raportează măsurătorile din faza a III-a coroborate cu măsurătorile din faza I-ii, după care vor fi raportate măsurătorile din faza II-a. Unind punctele de acelaşi fel se vor obţine secţiunile de detaliu cu axele corespunzătoare, după cum au fost definite: axele secundare de transport ($I-I$ şi $II-II$) ca linii ce unesc ghidajele perechi, axa principală de transport ($III-III$) ca media axelor ($I-I$) şi ($II-II$), axa principală longitudinală ($IV-IV$) la distanţa m — decalajul axelor conform monografiei secţiunii şi paralelă cu axa ($III-III$) şi în sfîrşit axa ($V-V$) ca medie a distanţelor dintre ghidajele transversale şi centrul puţului C corespunzînd intersecţiei axelor ($IV-IV$) cu ($V-V$). Secţiunii zero (S_0) i se va ataşa pe axele ($IV-IV$) C, ($V-V$) un sistem de axe de coordonate longitudinal-transversal (u, C, v) (fig. XV.67)

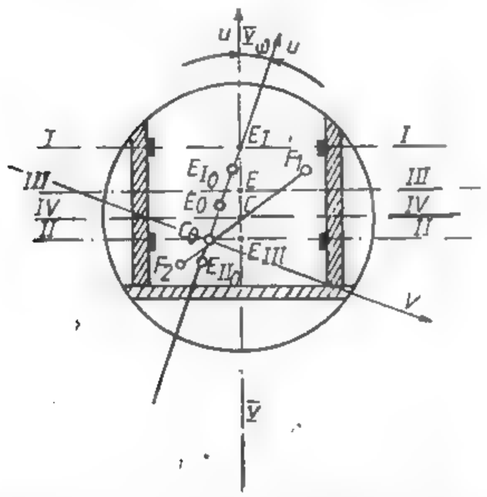


Fig. XV.67. Centrarea secţiunilor puţului.

Se va face în continuare centrarea secţiunilor constînd din: suprapunerea secţiunii S_0 peste fiecare secţiune în parte, utilizîndu-se ca repere de bază cele două fire F_1, F_2 unice pentru toate secţiunile.

În sistemul (u, C, v) vor fi măsurate coordonatele u şi v pentru fiecare centru de axe (E_I, E_{II}, E, C) şi unghiul de rotaţie a axelor, măsurători ce vor fi raportate grafic pe secţiuni (grafice verticale) la scară mare, pentru deplasările orizontale (fig. XV.68).

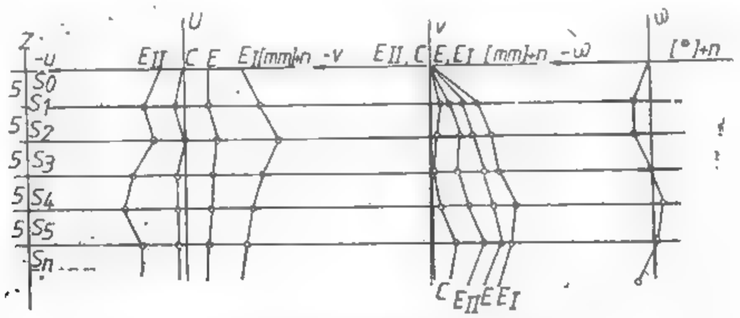


Fig. XV.68. Grafic privind deformarea puţului vertical de mină.

Cunoscînd abaterea maximă a deviaţiei axei pe verticală, se pot determina secţiunile periculoase care trebuiesc rectificate, eventual reamenajate, în vederea unei circulaţii fluente şi sigure pe puţ.

În ceea ce priveşte tasarea puţului, pot fi plasate repere speciale destinate acestei operaţii, odată cu faza I-ii a ridicărilor anterioare. Reperele vor fi ghidate pe verticală cu ajutorul unui fir lestat pe lîngă peretele puţului. Se efectuează o măsurătoare „zero" care va fi urmată de măsurători la intervale regulate de timp. Prin compararea înălţimilor curente dintre reperele de secţiune cu măsurătoarea „zero" vor fi determinate tasările şi vor fi reprezentate grafic.

4.3.3. RECEPŢIA ŞI EVIDENŢA LUCRĂRILOR MINIERE ÎN SĂPARE

Lucrările topografice privind recepţia şi evidenţa realizărilor la lucrările miniere în săpare se desfăşoară în timp, la perioade bine stabilite, şi anume: decadal, lunar şi anual, şi au ca scop urmărirea executării calitative şi cantitative a lucrărilor miniere.

Recepţionarea decadală a lucrărilor miniere se face în scopul urmăririi realizării eşalonate a planificărilor lunare.

Recepţionarea lunară conţine recepţiile decadelor I-ii şi a II-a, coroborate cu recepţia decadei a III-a şi se face pe baza unor măsurători topografice definitive sprijinite pe reţeaua topografică a minei, cu ştufe marcate în galerii prin plăcuţe metalice plasate pe armături, iar în planul topografic prin simboluri specifice lunii respective. Sfîrşitul de lună se nominalizează prin cifre arabe corespunzătoare lunii respective, sfîrşitul de trimestru prin cifre arabe corespunzătoare trimestrului, iar sfîrşitul de an prin ştufe sub formă de treflă şi ultimele două cifre ale anului respectiv. La recepţionarea unei lucrări miniere, prima operaţie constă în verificarea executării lucrării în conformitate cu monografia de susţinere, privind o serie de elemente printre care: distanţa dintre cadre şi aşezarea cadrelor de susţinere, umplerea golurilor, ecartamentul, panta, tuburile de aeraj, conducerea în curbă, adîncimea canalului etc.

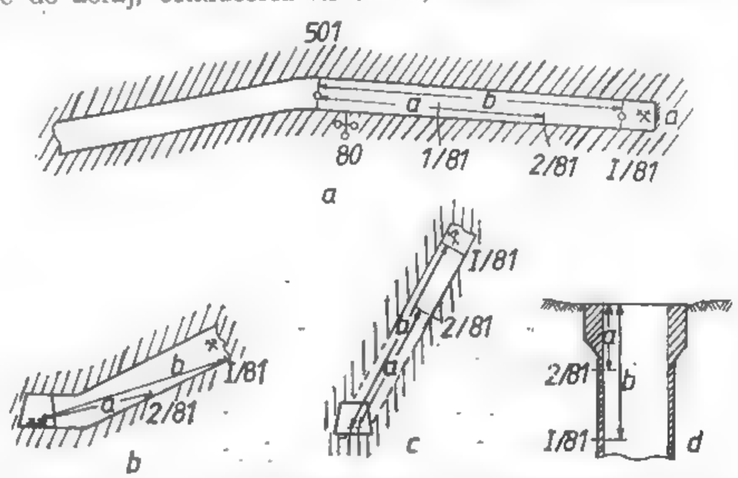


Fig. XV.69. Recepţionarea lucrărilor miniere în săpare.

După efectuarea recepţionării calitative a lucrării miniere în săpare se efectuează măsurătorile topografice specifice recepţionării cantitative. Aceste măsurători sînt totdeauna sprijinite pe puncte topografice din reţeaua de sprijin a minei.

Din figura XV.69 se observă că lungimea săpată şi amenajată în perioada martie 1981 este data de diferenţa măsurată ($b - a$); această cantitate de lucrări executate se referă la metri liniari, de profil tipizat definitiv executat.

Planele înclinate, suitorile şi puţurile se recepţionează şi se evidenţiază în aceleaşi condiţii, cu observaţia că măsurătorile sînt sprijinite pe coroana şinei orizontului de la care a fost atacată lucrarea minieră respectivă.

Realizările sînt evidenţiate pe reprezentările în secţiune a lucrărilor miniere şi în formulare tip.

4.3.4. RECEPŢIA ŞI EVIDENŢA PRODUCŢIEI REALIZATE ÎN ABATAJE

Eşalonarea în timp a perioadelor de recepţie a cantităţilor extrase în subteran este aceeaşi ca în cazul lucrărilor miniere.

Lucrările topografice de recepţie şi evidenţă a cantităţilor exploatate constau în măsurarea elementelor caracteristice golurilor create. Funcţie de tipul de zăcămînt şi metoda de exploatare sînt utilizate metode corespunzătoare.

Zăcămintele stratiforme cu înclinare mică. Caracteristice sînt zăcămintele de cărbune la adîncime mică, în care abatarea substanţei minerale utile se face cu explozivi (fig. XV.70) sau mecanizat, cu ajutorul combinelor (fig. XV.71).

În primul caz linia frontului fiind neregulată, aceasta va fi ridicată cu o bună precizie, utilizînd metoda coordonatelor rectangulare pe coardă. În acest scop se va utiliza ca sprijin reţeaua topografică existentă în zona respectivă. Astfel se va întinde o ruletă *I* între punctele ⊙ *506* şi ⊙ *507* aparţinînd reţelei topografice în galeria de bază (G_b). În frontul de lucru se întinde o a doua ruletă *II*, cît mai aproape de linia frontului, în dreptul citirii F_{II} pe ruleta *I*. Cu o a treia ruletă *III* se va constitui un triunghi de legătură, făcîndu-se citirile corespunzătoare I_{III} pe ruleta *I*, II_{III} pe ruleta *II* şi III_{II} pe ruleta *III*. Faţă de ruleta *III* perpendiculare vor fi măsurate distanţele (a_i) pînă la front şi citirile pe ruleta *II* (b_i).

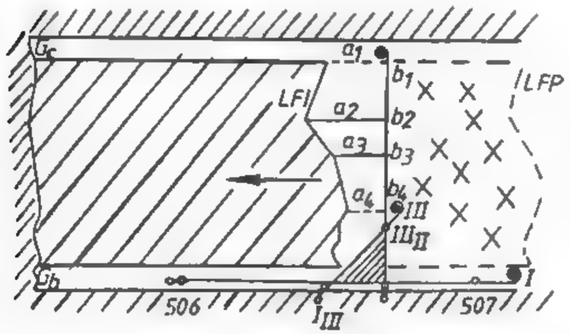


Fig. XV.70. Ridicarea liniei frontului în abataje de cărbune cu perforare-împuşcare.

În cursul lunii vor fi măsurate înălţimile abatajului cu o densitate de circa 5 m. Pe planul abatajului vor fi raportate datele obţinute în subteran, în ordinea în care au fost făcute observaţiile. Unind punctele de acelaşi fel din front, se va obţine linia frontului. Suprafaţa exploatată în cursul lunii respective va fi mărginită de linia frontului de la sfîrşitul lunii precedente (*LFP*), linia frontului la sfîrşitul lunii încheiate (*LFI*) şi conturul celor două galerii de bază (G_b) şi de capăt (G_c), suprafaţă care se va planimetra de cel puţin două ori, rezultînd $S_{I/81}$, suprafaţă exploatată în luna martie 1981.

Volumul exploatat V va rezulta ca produsul dintre înălţimea medie, h_m, în cursul lunii,

$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} h \cdot i}{n} \tag{4.145}$$

şi suprafaţa planimetrată

$$V_{I/81} = S_{I/81} \cdot h_m \quad [m^3]. \tag{4.146}$$

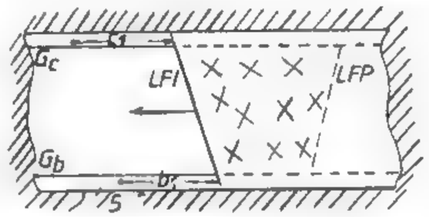


Fig. XV.71. Ridicarea liniei frontale la abataje de cărbune cu front lung şi combină.

După obţinerea liniei frontului este necesar indicarea în abataj a liniei corecte a liniei frontului, situată perpendicular pe sensul de înaintare a abatajului.

Dacă abatarea se face prin metode mecanizate (fig. XV.71), linia frontului este oarecum rectilinie, ridicîndu-se topografic ca atare.

Lucrările topografice sînt sprijinite pe puncte topografice (⊙ *512*, ⊙ *509*) faţă de care se măsoară cu ruleta poziţia liniei frontului: b_1 faţă de ⊙ *512* şi c_1 faţă ⊙ *509*

Se raportează pe planul abatajului linia frontului la sfîrşitul lunii încheiate (*LFI*), plan pe care se găseşte şi linia frontului la sfîrşitul lunii precedente (*LFP*). Se va proceda, în continuare, ca în cazul arătat anterior pentru obţinerea volumului exploatat în cursul lunii încheiate.

Zăcăminte stratiforme cu înclinare mare. La aceste tipuri de zăcămînt, metodele topografice utilizate în evidenţierea volumelor excavate fac uz de descompunerea golurilor create în corpuri geometrice simple a căror volume pot fi uşor identificate

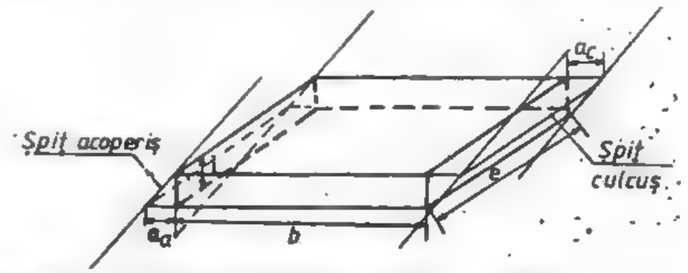


Fig. XV.72. Recepţia producţiei în abataje de cărbune cu înclinare mare.

prin măsurători simple, urmînd ca volumul total să rezulte prin însumarea volumelor parţiale. Astfel se procedează atît în cazul metodei în trepte cît şi în cazul exploatării în felii orizontale. În acest ultim caz, va fi evidenţiat separat volumul de cărbune rezultat din şpituri unde măsurătorile se fac pentru înălţimea feliei, adîncimea şpitului şi lungimea şpitului (fig. XV.72).

Volumul total pentru felie este:

$$V = i \cdot l \left[b + \frac{1}{2}(a_a + a_c) \right] \qquad (4.147)$$

Cantitatea corespunzătoare:

$$Q = V \cdot \gamma$$

unde: γ este masa volumetrică

De asemenea, va fi evidenţiată separat cantitatea de cărbune extrasă din stratul subţire însoţitor (ex. stratul Paprică în Valea Jiului).

În unele cazuri se practică o normă comună aferentă — m³ (t) de cărbune extras pentru felie, în care sînt însumate cantităţile extrase, inclusiv şpituri şi Paprică.

Indiferent de metoda utilizată, la minele de cărbune echipele de lucru vor plasa în vagonete mărci metalice pentru cîntărirea cantităţii de cărbune la gura minei, în cazul transportului cu vagonete. În cazul transportului cu benzi va fi evaluată cantitatea totală la gura minei.

Cantitatea la gura minei va fi corelată cu cantitatea livrată preparaţiilor (neconcordanţă provenită datorită conţinutului de steril).

Cu acest factor de corecţie (K), specific fiecărei luni, vor fi corectate cantităţile excavate de fiecare brigadă de mineri în parte.

Zăcăminte de minereu. Problema recepţiei şi evidenţei producţiei realizate este foarte dificilă datorită formei neregulate şi poziţiei în spaţiu a filonului. În această situaţie vor fi apreciate volumele prin descompunerea golurilor rezultate în forme geometrice simple, volume ce vor fi apoi corelate cu cantităţile la gura minei. În cazul abatajelor de minereu, producţia se evaluează, exclusiv, pe baza volumelor măsurate. Se urmăreşte în principal ridicarea topografică a conturului abatajului respectiv, contur ce se ridică, de regulă, prin metoda polară şi se figurează pe harta filonului. Suprafaţa abatajului se planimetrează.

Mai important este de determinat linia tavanului în abatajul respectiv, linie ce se determină prin nivelment geometric cu mira aşezată la tavan şi care va fi raportată pe secţiunea verticală a filonului.

În aceeaşi secţiune se va regăsi şi linia tavanului, corespunzător preluării anterioare. Volumul excavat în perioada interesată va rezulta ca produs între suprafaţa planimetrată a abatajului şi diferenţa de cotă dintre cele două preluări a liniei de tavan.

Evaluarea stocului. Stocurile se pot înmagazina în depozite sau pe platforme. Volumele sau cantităţile înmagazinate în stocuri pot fi uşor identificate la preluările lunare, deoarece depozitele au linii de gradare a volumelor corespunzătoare înmagazinărilor. Pentru cazul platformelor, stocurile de substanţă minerală utilă se vor constitui sub forma unor figuri geometrice şi calculate corespunzător volumelor. Pentru stocuri cu formă neregulată se vor ridica planuri topografice cu curbe de nivel cu echidistanţă de 0,5 sau 1 m, calculul efectuîndu-se prin metoda curbelor de nivel (metoda secţiunilor orizontale) sau prin metoda secţiunilor verticale.

4.3.5. EVALUAREA PRODUCŢIEI REALIZATE ÎN CARIERE

În cariere volumele excavate sînt mult mai mari decît în cazul exploatărilor miniere subterane. Evaluarea producţiei se va face şi în aceste condiţii la intervale indicate în cazul exploatărilor subterane.

În raport cu tipul de carieră, metoda de exploatare, posibilităţile de aplicare a metodelor de evaluare, sînt utilizate în principal: *metoda curbelor de nivel* şi *metoda secţiunilor*, metode care au aplicare direct topografică.

De remarcat faptul că metoda stereofotogrammetrică terestră face apel la metoda curbelor de nivel.

Metoda curbelor de nivel. Cunoscută şi sub denumirea de *metoda secţiunilor orizontale*, metoda curbelor de nivel constă, în ridicarea planului cu curbe de nivel cu echidistanţa de 1 m sau 5 m, în raport cu o cotă de referinţă unică şi stabilă, la intervale de timp de 1 de 3 sau 6 luni.

Diferenţa între curba de nivel la începutul intervalului şi curba de nivel de aceeaşi cotă la sfîrşitul intervalului va contura suprafaţa exploatată corespunzătoare curbei de nivel. Suprafaţa va fi planimetrată de cel puţin două ori. Volumul excavat va fi dat de suprafaţa medie între două curbe consecutive înmulţită cu echidistanţa (e) dintre curbele de nivel:

$$V = e \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} (S_i + S_{i+1}) \quad [\mathrm{m}^3] \qquad (4.148)$$

O variantă a acestei metode, des utilizată, este *metoda înălţimilor medii*. Metoda propune, ca şi în cazul precedent, determinarea tahimetrică a unui număr suficient de puncte de conturare a suprafeţei exploatate (S_i). Totodată se fac măsurători şi se determină cota medie a treptei (H_{mi+1}). Cunoscînd suprafaţa (S_i) şi cota medie (H_{mi}) a preluării anterioare, volumul rezultă din relaţia:

$$V_{i,i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}(H_{mi} - H_{mi+1}) \quad [\mathrm{m}^3] \qquad (4.149)$$

suprafeţele S_i, S_{i+1} sînt determinate prin cel puţin două planimetrări (sau dacă se cunosc coordonatele punctelor de contur pot fi determinate analitic).

Volumul total se determină prin însumarea volumelor parţiale pe trepte, făcîndu-se distincţie între util şi steril:

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} (S_i + S_{i+1})(H_{mi} - H_{mi+1}) \qquad (4.149')$$

Metoda secţiunilor verticale. Aplicarea metodei în teren începe prn fixarea în carieră a unor profile transversale cu cariera, de preferinţă paralele între ele şi avînd tot de preferinţă o echidistanţă constantă e între 20—50 m. Materializarea în teren a profilelor se va face cu puncte fixe în afara zonei de exploatare stabilă, faţă de reţeaua topografică de sprijin a carierei.

Măsurătorile constau în determinarea tahimetrică a unor puncte caracteristice din direcţia profilului în albia carierei, care vor fi raportate grafic pe secţiunile cu profilele respective.

Avînd măsurată şi linia albiei din preluarea precedentă, va rezulta, pe profilul i, suprafaţa S_i excavată în intervalul respectiv, care va fi planimetrată de cel puţin două ori*).

Volumul excavat între două profile (i şi $i + 1$) va fi:

$$V_{i,i+1} = e_{i,i+1} \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \quad [\mathrm{m}^3] \qquad (4.150)$$

Volumul total va rezulta prin însumarea volumelor dintre profile.

*) Această prevedere este impusă în special de faptul că planimetrul are o eroare admisibilă de 5%, ceea ce ar asigura o determinare acceptabilă a volumelor excavate.

4.4. STRĂPUNGERI MINIERE

Problemele miniere de străpungeri apar în cazul lucrărilor de proiectare a minelor noi sau de extindere a celor existente, ca şi în mai toate fazele de lucru în subteran privind deschiderea, pregătirea şi exploatarea zăcămintelor de substanţe minerale utile, oferind documentaţia grafo-analitică de punere în operă a elementelor proiectate.

4.4.1. STRĂPUNGEREA ÎNTRE DOUĂ PUNCTE TOPOGRAFICE

Pentru proiectarea legăturii între două puncte topografice în subteran este necesar a fi cunoscute coordonatele şi cotele celor două puncte. Presupunînd că legătura respectivă este un preabataj, elementele topografice ce trebuiesc cunoscute sînt: reţeaua topografică planimetrică în zona respectivă şi reţeaua nivelitică (fig. XV.73).

Aceste elemente vor fi: — pentru galeria *5* punctul $\overset{\odot}{|}501$ (x_{501}, y_{501}) orientarea $\theta_{501,502}$ şi cota reperului nivelitic R_{n5}: H_5.

— pentru galeria *b* punctul $\overset{\odot}{|}601$ (x_{601}, y_{601}), orientarea, $\theta_{601,602}$ şi cota reperului nivelitic R_{n6}: H_6. Punctele de capăt ale străpungerii se stabilesc în subteran, prin coordonatele lor. În oricare din cazuri se va face poziţionarea punctelor în subteran prin măsurarea sau impunerea distanţei orizontale pînă la punctele de atac. Punctele de străpungere S_1 şi S_2 vor avea coordonate:

$$\overset{\odot}{|}S_1 \begin{cases} x_1 = X_{501} + a \cos \theta_{501,502} \\ y_1 = Y_{501} + a \sin \theta_{501,502} \end{cases}$$

$$\overset{\odot}{|}S_2 \begin{cases} x_2 = X_{601} + b \cos \theta_{601,602} \\ y_2 = Y_{601} + b \sin \theta_{601,602} \end{cases} \qquad (4.151)$$

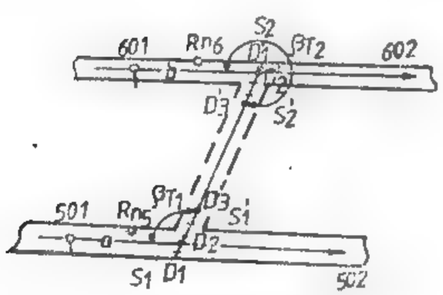


Fig. XV.73. Legătura între două puncte.

Se stabilesc prin nivelment geometric de la mijloc cotele la vatră ale punctelor de atac ale străpungerii:

$$H_1 = H_{Rn_5} + l_{Rn_5} - l_{S_1}$$

$$H_2 = H_{Rn_6} + l_{Rn_6} - l_{S_2} \qquad (4.152)$$

Se calculează orientarea străpungeri θ_{12} cu una din relaţiile:

$$\operatorname{tg}_{\theta_{12}} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y_{1,2}}{\Delta x_{1,2}}$$

$$\operatorname{ctg}_{\theta_{12}} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{\Delta x_{1,2}}{\Delta y_{1,2}} \qquad (4.153)$$

şi se verifică cu una din relaţiile:

$$\operatorname{tg}(\theta_{12} + 50^g) = \frac{\Delta x_{12} + \Delta y_{12}}{\Delta x_{12} - \Delta y_{12}} \qquad (4.154)$$

$$\operatorname{ctg}(\theta_{12} + 50^g) = \frac{\Delta x_{12} - \Delta y_{12}}{\Delta x_{12} + \Delta y_{12}}$$

Elementele de trasare ale galerici după direcţie vor fi unghiurile de trasare β_{T_1} β_{T_2} ce se vor măsura în punctele de atac ale străpungerii S_1 respectiv S_2, avînd mărimile:

$$\beta_{T_1} = \theta_{12} - \theta_{502,501} \qquad (4.155)$$

$$\beta_{T_2} = \theta_{21} - \theta_{602,601} \qquad (4.156)$$

În cazul cînd lucrarea proiectată este plan înclinat, atunci vor fi proiectate refugii pe direcţia străpungerii, prin calculul unor puncte retrase (S_1', S_2') pe direcţia aliniamentului, la distanţele d_1 şi d_2 impuse de normele de proiectare

$$\overset{\odot}{|}S_1' \begin{cases} X_{S_1'} = X_{S_1} + d_1' \cos \theta_{12} \\ Y_{S_1'} = Y_{S_1} + d_1' \sin \theta_{12} \\ H_{S_1'} = H_{S_1} \end{cases} \qquad (4.157)$$

$$\overset{\odot}{|}S_2' \begin{cases} X_{S_2'} = X_{S_2} + d_2' \cos \theta_{21} \\ Y_{S_2'} = Y_{S_2} + d_2' \sin \theta_{21} \\ H_{S_2'} = H_{S_2} \end{cases} \qquad (4.158)$$

În ambele cazuri se va săpa din galerie 2—3 m, după care vor fi materializate pentru direcţie cel puţin 3 fire topografice (provizorii), plasate atît în faţă cît şi în spatele punctului de staţie: D_1, D_2, D_3, şi D_1', D_2', D_3', fire cu care va fi condusă, după direcţie, în continuare galeria în săpare. Din cînd în cînd se revine cu aparatul în staţie şi se prelungeşte direcţia prin plantarea altor puncte de direcţie, mai aproape de frontul de lucru.

Aşezarea susţinerii faţă de direcţia firului cu plumb se face la distanţă *a* (denumită *abştig*), ce se menţine constantă pe toată durata efectuării lucrării (fig. XV.74).

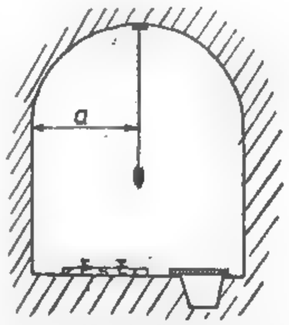


Fig. XV.74. Conducerea după direcţie a lucrărilor miniere orizontale.

Totodată vor fi calculate elementele de conducere a lucrării miniere şi după pantă sau după înclinarea proiectată, în baza următoarelor calcule. Diferenţa de nivel dintre punctele S_1 (S_1') şi S_2 (S_2') va fi:

$$\Delta h_{12} = H_{S_2} - H_{S_1} \qquad (4.159)$$

Lungimea reală a străpungerii:

$$l_{12} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2 + \Delta h_{12}^2} \qquad (4.160)$$

Lungimea orizontală a străpungerii:

$$s_{12} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \theta_{12}} = \frac{\Delta y_{12}}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2} \qquad (4.161)$$

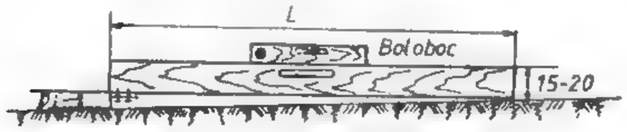


Fig. XV.75. Lat de pantă.

Panta lucrării miniere (galeriei)

$$p_{\%} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 100 \text{ sau } p_{0/00} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 1000 \qquad (4.162)$$

Sau, înclinarea lucrării miniere (plan înclinat, suitoare)

$$\operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}}; \quad \sin \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{l_{12}}; \quad \cos \varphi_{12} = \frac{s_{12}}{l_{12}} \qquad (4.163)$$

Pentru galerii de înclinare mică conducerea în săpare se va face cu ajutorul lațului de pantă (fig. XV.75) (din lemn) ce va avea lungimea L de 2 m sau 3 m cu un pinten metalic a cărui înălțime p_ℓ este funcție de pantă, și un boloboc pentru orizontalizare.

$$p_\ell = \frac{L \cdot p\%}{100} \quad \text{sau} \quad p_\ell = \frac{L \cdot p\,^0/_{00}}{1000} \qquad (4.164)$$

Lațul de pantă se așază pe șina de cale, sau pe vatră, cu pintenul înspre frontul de lucru pentru pantă și cu pintenul în spatele frontului de lucru pentru rampă.

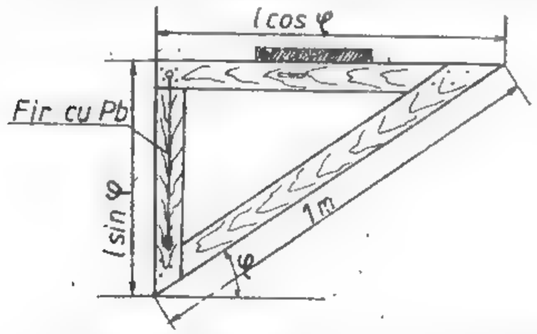


Fig. XV.76. Echer de înclinare (pantă).

Pentru planele înclinate și suitori va fi confecționat din lemn un echer de înclinare (fig. XV.76) avînd o ipotenuză de 1 m. Catetele vor fi calculate corespunzător unghiului de înclinare al lucrării miniere.

Pentru utilizarea corectă a echerului de înclinare se va orizontaliza o latură cu ajutorul unui boloboc sau se va verticaliza cealaltă latură cu ajutorul unui fir cu plumb, conform fig. XV.76.

În cazul planelor înclinate, echerul de pantă se așază cu ipotenuza pe vatra lucrării minere sau pe linia de cale, iar pentru suitori se așază direct pe armătură la vatră, controlîndu-se cu el totodată perpendicularitatea granturilor.

4.4.2. RACORDAREA ALINIAMENTELOR

Este o lucrare de străpungere cu curbă circulară între două aliniamente, la care trebuie îndeplinită condiția de continuitate a traseului necesar circulației la transportul cu vagonete (fig. XV.77).

Elementul prioritar este raza curbei de racordare R impusă de: obiectul transportului, viteza de circulație, ecartament etc.

Rezolvarea racordării din punct de vedere topografic impune:

— cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului I $\theta_I = \theta_{501,502}$;

— cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului II $\theta_{II} = \theta_{601,602}$;

— unghiul de vîrf ω rezultat din diferența $\omega = \theta_{II} - \theta_I$;

— tangenta curbei de racordare $t = R \operatorname{ctg} \omega$;

— calculul coordonatelor vîrfului curbei de racordare prin intersecție înainte

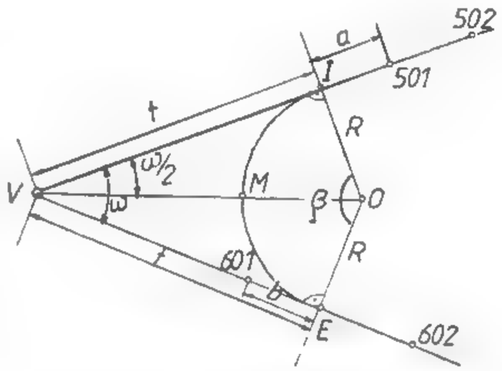


Fig. XV.77. Racordarea cu curbe circulare a aliniamentelor subterane

$$x_v = \frac{y_{601} - y_{501} + x_{501} \operatorname{tg}(\theta_I + 200^g) - x_{601} \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^g)}{\operatorname{tg}(\theta_I + 200^g) - \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^g)}$$

$$y_v' = y_{501} + (x_v - x_{501}) \operatorname{tg}(\theta_I + 200^g) \qquad (4.165)$$

$$y_v'' = y_{601} + (x_v - x_{601}) \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^g)$$

$$y_v = \frac{y_v' + y_v''}{2}$$

— calculul din coordonate a distanței $\overline{V - 501}$ și $\overline{V - 601}$ cu relațiile (4.161), din care se va scădea tangenta la curbă t, rezultînd (a și b), distanțele pînă la punctele de intrare respectiv ieșire din curbă:

- dacă distanța rezultă pozitiv atunci pînă la punctul de atac mai este de săpat (ex: a);
- dacă distanța rezultă negativ atunci punctul de atac se găsește în spatele ultimului punct din frontul de lucru (ex: b);

— calculul coordonatelor punctului I de intrare în curbă

$$I \begin{cases} x_I = x_{501} + a \cos(\theta_I \pm 200^g) \\ y_I = y_{501} + a \sin(\theta_I \pm 200^g) \end{cases} \qquad (4.166)$$

— calculul coordonatelor punctului de ieşire din curbă

$$E \begin{cases} x_E = x_{601} + b \cos \theta_{II} \\ x_F = y_{601} + b \sin \theta_{II} \end{cases} \qquad (4.167)$$

— calculul cotei punctelor de intrare şi ieşire din curbă se face iniţial prin calculul cotei la vatră a punctelor *501* şi *601*

Astfel:

$$H_I = H_{501} + a \frac{p_{I\,0/00}}{1000}$$

$$H_{II} = H_{601} + b \frac{p_{II\,0/00}}{1000} \qquad (4.168)$$

— calculul pantei pe galerie rezultată prin procedeul şi relaţiile (4.162);

— calculul lungimii orizontale l a curbei de racordare se face notînd:

$$\beta = 200^g - \omega$$

$$l = \frac{2\pi R}{400}(200^g - \omega)$$

sau: (4.169)

$$l = \frac{\pi R}{200^g} \cdot \beta$$

— calculul pantei curbei de racordare:

$$p_{0/00} = \frac{H_I - H_E}{l} 1000 \qquad (4.170)$$

— calculul lungimii reale L a curbei de racordare

$$L = \sqrt{l^2 + (H_I - H_E)^2} \qquad (4.171)$$

Conducerea în săpare a lucrărilor miniere curbe. Elementele de proiectare a lucrării miniere în curbă vor fi raportate pe un plan la o scară cît mai mare (1: 20).

Pe acelaşi plan va fi raportat conturul pereţilor laterali ai galeriei conform tipului şi monografiei de susţinere (fig. XV.78).

În zona ramificaţiei, la trecerea de la galeria dreaptă la curbă, va fi trasat pintenul lucrării în lăţime de 0,50 m, în poziţie simetrică faţă de cele două lucrări. Din punctul I în punctul E va trebui împărţită curba sub forma unui poligon cu laturi egale în interiorul conturului galeriei (lucru ce se realizează prin tatonare, urmărind obţinerea minimului de coarde). Elementele de trasare conform figurii vor fi:

— unghiurile de trasare

$$\beta_{TI} = \beta_{TE} = 200^g + \frac{1}{2}\beta/3 \qquad (4.172)$$

$$\beta_{T_1} = \beta_{T_2} = 200^g + \beta/3 \qquad (4.173)$$

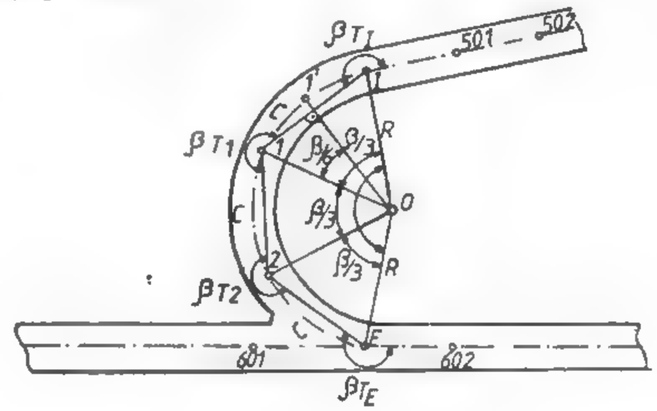


Fig. XV.78. Planul de trasare a galeriei în curbă.

— coardele de trasare

$$c = 2R \sin \frac{1}{2}\beta/3 \qquad (4.174)$$

În subteran se va proceda la săparea a 2—3 m de galerie fără o conducere riguroasă, după care se va staţiona cu aparatul într-un punct de staţie (ex. I) şi se va viza direcţia coardei cu unghiul de trasare calculat (β_{TI}) direcţie ce se va materializa prin cel puţin 3 fire cu plumb.

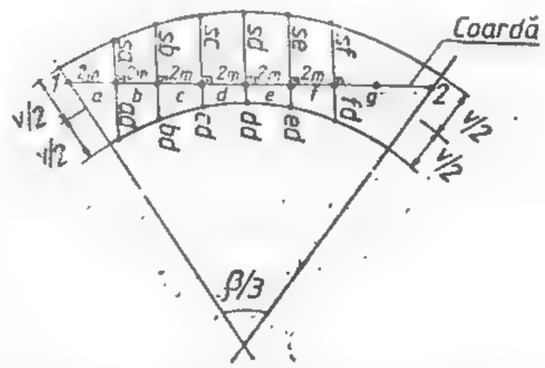


Fig. XV.79. Trasarea lucrărilor miniere curbe.

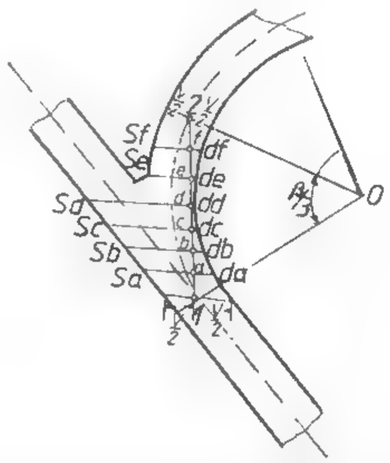


Fig. XV.80. Trasarea ramificaţiilor.

Aşezarea în galerie a susţinerii se va face faţă de această direcţie, prin *metoda coordonatelor rectangulare pe coardă*. Astfel, pe un plan la o scară cît mai mare (1:20) se va raporta numai sectorul de cerc interesat cu elementele de trasare ale pereţilor galeriei, direcţia şi lungimea coardei (fig. XV.79 şi 80)

Practic coarda va fi împărţită în segmente de 1 sau 2 m, la capătul cărora vor fi trasate perpendiculare. Vor fi măsurate grafic şi transpuse la scară mărimile distanţelor de la coardă pînă la pereţi, mărimi ce vor fi înscrise corespunzător în afara galeriei. Modelul rămîne valabil pentru toate sectoarele identice ale galeriei curbe.

În cazul armăturilor individuale (lemn, metalice), cadrele trebuie să conveargă către centrul curbei, caz în care se vor plasa grafic armăturile în mod radial, cu o distanţă maximă (cîmpul mare) la peretele lateral exterior ce nu va depăşi 1,00 m. Va fi calculată — sau măsurată — distanţa între armături la peretele interior(cîmpul mic), în rest procedeul fiind asemănător.

În cazul ramificaţiilor (fig. XV.80) procedeul este identic, adaptat la condiţiile respective.

Din punct de vedere nivelitic lucrarea va fi dirijată cu ajutorul lăţului de pantă, confecţionat şi utilizat corespunzător.

4.4.3. PROBLEME DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Sub această denumire sînt întîlnite o serie de străpungeri miniere cu condiţii iniţiale ce au importante aplicaţii în practica minieră la proiectarea lucrărilor miniere orizontale, înclinate, verticale, probleme de minim. Aceste probleme sînt grupate astfel încît rezolvarea să fie unică pentru multe din ele, cum ar fi: intersecţia lucrărilor miniere cu strate, intersecţii pe strate, probleme ce se reduc la intersecţii de drepte şi plane în spaţiu. În practica minieră, elementele de definire ce caracterizează o lucrare minieră sînt: un punct P_1 (x_1, y_1, z_1) de pe axa unei galerii, θ_1 orientarea axei şi înclinarea φ_1 a axei. Practic elementele de definire a unei drepte sînt: D_1 $[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$.

Ecuaţia unei drepte ce trece printr-un punct, de direcţie şi înclinare, are forma:

$$(D_1) \quad \frac{x - x_1}{\alpha_1} = \frac{y - y_1}{\beta_1} = \frac{z - z_1}{\gamma_1} = \lambda \qquad (4.175)$$

unde: $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ — sînt cosinuşii directori ai dreptei, adică

$\alpha_1 = \pm \cos\varphi_1 \cos\theta_1$; $\beta_1 = \pm \cos\varphi_1 \sin\theta_1$ (4.176). $\gamma_1 = \pm \sin\varphi_1$; λ = parametru. (4.177)

Vectorul unitar $\bar{\rho}_1$ al dreptei D_1, ce caracterizează direcţia dreptei, are forma:

$$\bar{\rho}_1 = \alpha_1\bar{i} + \beta_1\bar{j} + \gamma_1\bar{k} \qquad (4.178)$$

unde: $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ — sînt versorii unitari corespunzători axelor x, y şi z.

Considerînd în mod corespunzător o altă dreaptă D_2, atunci unghiul ω) dintre cele două drepte este dat de:

$$\cos\omega = \alpha_1\alpha_2 + \beta_1\beta_2 + \gamma_1\gamma_2 \qquad (4.179)$$

sau în mod corespunzător:

$$\cos\omega = \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 \qquad (4.180)$$

Un plan (Q) este individualizat printr-un punct $P_0(x_0, y_0, z_0)$, orientarea θ_p care este direcţia orientării unei orizontale a planului şi înclinarea V a planului care

este unghiul de înclinare a liniei de cea mai mare pantă. Recapitulînd, planul (Q) este dat de $[P_0(x_0, y_0, z_0)\ \theta_p, V]$.

Ecuaţia unui plan (Q) ce conţine punctul $P_0(x_0, y_0, z_0)$ şi este perpendicular pe o dreaptă dată (normal la plan) ai cărui cosinuşi directori sînt α, β şi γ, echivalenţi cu α_p, β_p, şi respectiv γ_p, este dată de relaţia:

$$(Q) \quad \alpha_p(x - x_0) + \beta_p(y - y_0) + \gamma_p(z - z_0) = 0 \qquad (4.181)$$

în care: $\alpha_p = \pm \sin V \sin\theta_p$

$$\beta_p = \mp \sin V \cos\theta_p \qquad (4.182)$$

$$\gamma_p = \cos V$$

Făcîndu-se uz de aceste cunoştinţe generale, pot fi rezolvate o serie de probleme topografice miniere:

4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie

Fie un punct cunoscut P_2 (x_2, y_2, z_2) de la care să se ducă cea mai scurtă galerie la o lucrare minieră cunoscută D_1 $(P_1, \varphi_1, \theta_1)$.

Condiţia ca dreapta să fie cea mai scurtă impune ca lucrarea proiectată să fie conţinută într-un plan la care să fie normală dreapta cunoscută (D_1); fie acest plan planul (S) care conţine punctul P_1 şi care va avea ca normală dreapta (D_1). Ecuaţia planului este:

$$(S) \quad (x - x_2)\alpha_1 + (y - y_2)\beta_1 + (z - z_0)\gamma_1 = 0 \qquad (4.183)$$

unde α, β şi γ — sînt cosinuşii directori ai normalei la planul (S), respectiv ai dreptei (D_1) obţinuţi din relaţiile (4.182);

x, y şi z — sînt coordonatele punctului unde dreapta înţeapă planul sau punctul unde dreapta proiectată întîlneşte galeria (D_1) cunoscută.

Scriind ecuaţia dreptei conform relaţiei (4.185) şi descompunînd se obţine:

$$\begin{cases} x = x_2 + \lambda\alpha_1 \\ y = y_2 + \lambda\beta_1 \\ z = z + \lambda\gamma_1 \end{cases} \qquad (4.184)$$

care înlocuite în ecuaţia planului (Q):

$$(x_1 + \lambda\alpha_1 - x_0)\alpha_p + (y_2 + \lambda\beta_1 - y_0)\beta_p + (z_2 + \lambda\gamma_1 - z_0)\gamma_p = 0 \qquad (4.185)$$

singura necunoscută fiind parametrul λ care rezultă:

$$\lambda = \frac{(x_0 - x_2)\alpha_p + (y_0 - y_2)\beta_p + (z_0 - z_2)\gamma_p}{\alpha_1\alpha_p + \beta_1\beta_p + \gamma_1\gamma_p} = \frac{d}{\cos\omega} \qquad (4.186)$$

Cum însă normala la plan coincide cu dreapta cunoscută (D_1), rezultă că:

$$\alpha_1\alpha_p + \beta_1\beta_p + \gamma_1\gamma_p = 1$$

$$\text{deci } \cos\omega = 1;\ \omega = 0$$

atunci:

$\lambda = d =$ distanţa pe normală dată de

$$\lambda = d = (x_0 - x_2)\,\alpha_p + (y_0 - y_2)\,\beta_p + (z_0 - z_2)\,\gamma_p \qquad (4.187)$$

care înlocuită în ecuaţia dreptei (5.184) va reda mărimile coordonatelor x, y şi z unde dreapta înţeapă planul, deci unde dreapta proiectată întîlneşte galeria (D_1).

Cu aceste coordonate pot fi calculate

— orientarea dreptei cu relaţia (4.153);
— lungimea orizontală a dreptei (4.161);
— diferenţa de nivel între capetele lucrării proiectate (4.169);
— lungimea reală a dreptei (4.160);
— înălţimea lucrării miniere proiectate (4.163).

4.4.3.2. Intersecţia dintre o galerie şi un zăcămînt

Geometric problema rezolvă intersecţia dintre o dreaptă $D_1\,[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ şi un plan $Q\,[P_0(x_0, y_0, z_0), \theta_p, V]$.

Ecuaţia planului conform relaţiei (5.181) este cunoscută, cosinuşii directori ai planului fiind cosinuşii directori ai normalei la plan (4.182).

Ecuaţia dreptei (D_1) este dată de (4.175), în care cosinuşii directori sînt daţi de (4.176). Ca dreapta să intersecteze planul, înseamnă că punctul curent al dreptei $P(x, y, z)$ verifică atît ecuaţia dreptei (4.175) cît şi a planului (4.181). Se vor înlocui ecuaţiile (4.184) în ecuaţia planului (4.181), rezultînd de aici mărimea parametrului λ (4.186) în care d este distanţa de la punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ aparţinînd dreptei şi punctul de intersecţie cu planul $P(x, y, z)$, deci lungimea galeriei pe dreapta D_1; λ reprezentînd distanţa pe normală ce conţine punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$, iar ω este unghiul format de galeria cunoscută şi normala la plan.

Coordonatele punctului de intersecţie $P(x, y, z)$ vor rezulta înlocuind parametrul λ (4.186) în sistemul de ecuaţii (4.184).

Modul de rezolvare a acestei probleme conduce la rezolvarea altor probleme privind condiţionarea poziţiei acestei drepte faţă de plan.

Astfel, dreapta proiectată ce conţine punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ trebuie să fie cea mai scurtă la zăcămînt şi orizontală; aceasta se exprimă astfel:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g \qquad (4.188)$$

$$\varphi_1 = 0 \qquad (4.189)$$

rezultă astfel că $\gamma_1 = 0$ şi ca atare:

$$\lambda = \frac{d}{\cos\omega} \qquad (4.190)$$

iar

$$\omega = 100 - V;\ \lambda = \frac{d}{\sin V}$$

impunînd aceste condiţii şi verificări, procedeul rămîne acelaşi ca în cazul expus, rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$.

Sau alt caz, ca *dreapta proiectată să fie cea mai scurtă la zăcămînt*. Aceasta înseamnă că dreapta proiectată să fie normală la zăcămînt:

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g;\quad \varphi_1 = 100 - V \qquad (4.191)$$

Cosinuşii directori ai dreptei sînt identici cu cosinuşii directori ai planului:

$$\alpha_1 = \alpha_p;\ \beta_1 = \beta_p;\ \gamma_1 = \gamma_p$$

$$\alpha_1\alpha_p + \beta_1\beta_p + \gamma_1\gamma_p = 1$$

$$\cos\omega = 1;\ \omega = 0$$

şi atunci:

$$\lambda = (x_1 - x_0)\,\alpha_p + (y_1 - y_0)\,\beta_p + (z_1 - z_0)\,\gamma_p = d \qquad (4.192)$$

care se înlocuieşte în (4.184), rezultînd coordonatele punctului unde cea mai scurtă galerie întîlneşte zăcămîntul.

O altă condiţie ar fi aceea ca *dreapta să fie cea mai scurtă la zăcămînt;*

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g$$

şi să aibă o înclinare φ_1; în aceste condiţii se va rezolva ca:

$$\lambda = \frac{d}{\cos\omega}$$

şi ca verificare

$$\omega = 100 - (V \pm \varphi_1)$$

Parametrul λ se calculează corespunzător relaţiei (4.186) şi se înlocuieşte în (4.184), rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$, unde dreapta cea mai scurtă de înclinare φ_1 întîlneşte zăcămîntul.

Şi în fine, dacă dreapta (D_1) se impune a fi verticală

$$\varphi_1 = 100^g$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = 0 \\ \beta_1 = 0 \\ \gamma_1 = 1 \end{cases}$$

procedeul este acelaşi, iar pentru control λ rezultat va satisface relaţia:

$$\lambda = \frac{d}{\cos\omega}$$

$$\omega = V$$

Coordonatele x şi y sînt identice cu x_1 şi respectiv y_1, iar z se determină cu λ prin înlocuirea în (4.184). Rezultă astfel punctul unde un puţ vertical ce conţine punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ întîlneşte zăcămîntul Q în $P\,(x_1, y_1, z)$.

4.4.3.3. Intersecţia dintre o falie şi un zăcămînt

Reprezintă din punct de vedere geometric intersecţia dintre două plane, rezultînd o linie de intersecţie. Ca două plane să se intersecteze, trebuie ca ele să nu fie paralele sau să se confunde şi aceasta poate fi uşor sesizat prin neegalitatea cosinuşilor directori ai normalelor la plan. În general, ecuaţia planului (Q) ce trece prin trei puncte $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ şi $P_3(x_3, y_3, z_3)$ are forma:

$$(Q) = \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ x - x_3 & y - y_3 & z - z_3 \end{vmatrix} = 0 \qquad (4.193)$$

unde x, y şi z — sînt coordonatele curente ale planului.

Sau ecuaţia unui plan (Q) care trece printr-un punct $P_1(x_1, y_1, z_1)$ şi este paralel la două direcţii date, prin cosinuşii directori respectivi $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$; $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$,

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \qquad (4.194)$$

ori făcînd notaţiile:

$$\begin{aligned} A &= \beta_1\gamma_2 - \beta_2\gamma_1 = [\beta\gamma]_{12} \\ B &= \gamma_1\alpha_2 - \gamma_2\alpha_1 = [\gamma\alpha]_{12} \\ C &= \alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1 = [\alpha\beta]_{12} \end{aligned} \qquad (4.195)$$

se obţine ecuaţia generală a planului (Q):

$$(Q)\ A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0 \qquad (4.196)$$

Sau, sub o altă formă, notînd cu:

$$D_1 = -Ax_1 - By_1 - Cz_1$$

se va o bţine o altă ecuaţie generală a planului

$$(Q)\ Ax + by + Cz + D = 0 \qquad (4.196')$$

în care: A, B şi C — sînt parametrii directori ai normalei la plan sau, ecuaţia normală a planului

$$(Q)\ (x - x_1)\alpha_p + (y - y_1)\beta_p + (z - z_1)\gamma_p = 0 \qquad (4.197)$$

care s-a obţinut prin împărţirea ecuaţiei generale (4.196) cu

$$\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

iar rapoartele:

$$\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \alpha_p; \quad \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \beta_p; \quad \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \gamma_p \qquad (4.198)$$

sînt tocmai cosinuşii directori ai normalei la plan sau cosinuşii directori ai planului (Q).

Ecuaţia (4.194) mai poate fi considerată ca ecuaţia planului, care cuprinde o dreaptă şi este paralel la o a doua dreaptă. Dacă într-adevăr punctul P_1, prin care trece planul, se găseşte pe dreapta (D_1) şi această dreaptă este paralelă cu planul, înseamnă deci că se găseşte cuprinsă în plan.

Scriind ecuaţiile planelor sub formă generală:

$$\begin{matrix} (Q) \\ (P) \end{matrix} \begin{cases} A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases} \qquad (4.199)$$

prin rezolvarea sistemului format se obţine linia de intersecţie a celor două plane. Pentru a se determina elementele dreptei de intersecţie şi anume orientarea θ_i şi înclinarea φ_i, se va scrie dreapta sub forma:

$$\frac{x - x_0}{\alpha_i} = \frac{y - y_0}{\beta_i} = \frac{z - z_0}{\gamma_i} \qquad (4.200)$$

În sistemul de ecuaţii (4.201) se observă că sînt două ecuaţii cu trei necunoscute, unde poate fi dată o valoare arbitrară uneia din necunoscute, exemplu $(z = z_0)$ rezultînd apoi celelalte necunoscute: $(x = x_0)$ şi $(y = y_0)$, deduse din calcul. Analizînd determinanţii minori din:

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \end{pmatrix} \qquad (4.201)$$

se poate conclude pentru care necunoscută se poate lua valoarea arbitrară.

Procedînd aşa cum s-a arătat, va rezulta $P_0(x_0, y_0, z_0)$ care va fi comun atît planelor (Q) şi (P) cît şi liniei de intersecţie (D_0). Alegînd o altă valoare arbitrară a necunoscutei z, va rezulta un punct $P_3(x_3, y_3, z_3)$ care va fi de asemenea comun, atît planelor (Q) şi (P) cît şi dreptei (D_0). Elementele dreptei (D_0) vor fi deduse cu relaţiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161), (4.163).

În altă ordine de idei, după găsirea punctului $P_0(x_0, y_0, z_0)$ pot fi scrise ecuaţiile planelor (Q) şi (P) ce conţin punctul comun P_0.

$$\begin{aligned} (Q)\ (x - x_0)A_1 + (y - y_0)B_1 + (z - z_0)C_1 &= 0 \\ (P)\ (x - x_0)A_2 + (y - y_0)B_2 + (z - z_0)C_2 &= 0 \end{aligned} \qquad (4.202)$$

Şi aceste două ecuaţii reprezintă linia de intersecţie.

Dacă se împarte sistemul cu $(z - z_0)$ şi se rezolvă în raport cu:

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} \quad \text{şi} \quad \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

se obţine:

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} = \frac{D_1}{D_3}; \quad \frac{y - y_0}{z - z_0} = \frac{D_2}{D_3} \qquad (4.203)$$

unde D_1, D_2, D_3 — sînt determinanţii minori.

Din (4.203) rezultă:

$$\frac{x - x_0}{D_1} = \frac{y - y_0}{D_2} = \frac{z - z_0}{D_3} \tag{4.204}$$

deci dreapta de intersecţie a fost pusă sub forma caracteristică, cu deosebirea că D_1, D_2 şi D_3 sînt parametrii directori ai dreptei.

Pentru a obţine cosinuşii directori ai dreptei, trebuie să existe:

$$\alpha_1 = \frac{D_1}{D}\ ;\ \beta_1 = \frac{D_2}{D}\ ;\ \gamma_1 = \frac{D_3}{D} \tag{4.205}$$

unde:

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2} \tag{4.206}$$

Ţinînd seama de:

$$\alpha_i = \pm \cos\varphi_i \cos\theta_i;\ \beta_i = \pm \cos\varphi_i \sin\theta_i;\ \gamma_i = \sin\varphi_i \tag{4.207}$$

rezultă elementele de definire ale dreptei de intersecţie

$$\operatorname{tg}\theta_i = \frac{\beta_i}{\alpha_i} = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{rezultă } \theta_i \tag{4.208}$$

sau

$$\sin\varphi_i = \gamma_i$$

şi

$$\cos\varphi_i = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2} \quad \text{rezultă } \varphi_i \tag{4.209}$$

4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute

Cunoscînd galeria $D_1[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ şi galeria $D_2\ [P_2(x_2, y_2, z_2), \theta_2, \varphi_2]$ se urmăreşte determinarea celei mai scurte galerii MN, adică perpendiculara comună prin identificarea coordonatelor (x_M, y_M, z_M) ale punctului M ce se găseşte pe galeria D_1 şi coordonatele punctului $N(x_N, y_N, z_N)$ ce se găseşte pe galeria D_2.

Ecuaţia planului Q care conţine dreapta D_1 ale cărei cosinuşi directori (4.176) sînt α_1, β_1, γ_1, şi paralel cu dreapta D_2 ale cărei cosinuşi directori (4.176) sînt α_2, β_2, γ_2 este:

$$(Q)\quad \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \tag{4.210}$$

Ecuaţia planului P ce conţine dreapta D_2 şi este paralel la dreapta D_1 va fi:

$$(P)\quad \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \tag{4.211}$$

Este evident că planele (Q) şi (P) sînt paralele, ca atare dreapta căutată MN va fi perpendiculara comună, care deocamdată va fi identificată prin intersecţia a două plane: R (care cuprinde dreapta (D_1) şi este perpendicular pe planul Q) şi S (care cuprinde dreapta (D_2) şi este perpendicular pe planul Q) şi totodată şi pe P.

Ecuaţiile celor două plane vor fi:

$$(R)\quad \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \tag{4.212}$$

$$(S)\quad \begin{vmatrix} x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \tag{4.213}$$

sumele simbolice din [ ] sînt cele din formula (4.195).

Intersecţia planului (R) cu planul (S) este tocmai dreapta căutată care, intersectată cu planul (Q), defineşte punctul M, iar intersectată cu planul P defineşte punctul N. Aşadar, prin rezolvarea sistemului de ecuaţii $(R) = 0$, $(S) = 0$ şi $(Q) = 0$ rezultă coordonatele x_M, y_M, z_M caracterizînd punctul M, iar din rezolvarea sistemului de ecuaţii $(R) = 0$, $(S) = 0$ şi $(P) = 0$ se definesc coordonatele x_N, y_N, z_N ale punctului N.

Cu aceste coordonate se definesc toate elementele dreptei MN folosind relaţiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161) şi (4.163).

4.5. STUDIUL COMPORTĂRII SUPRAFEŢEI SUB INFLUENŢA SPAŢIULUI SUBTERAN EXPLOATAT

În urma exploatării în subteran a zăcămintelor de substanţe minerale utile, se creează goluri, determinînd o schimbare în echilibrul tensiunilor din rocile înconjurătoare. Reechilibrarea acestor tensiuni determină o serie de mişcări în rocile înconjurătoare, mişcări ce se resimt pînă la suprafaţa zonei respective.

Studiul acestor influenţe este necesar pentru punerea în evidenţă şi luarea măsurilor corespunzătoare privind protecţia construcţiilor şi a apelor ce pot inunda subteranul. Rezultatele studiilor pot fi totodată utilizate în prognozarea influenţei la suprafaţă a spaţiului subteran exploatat, în bazine miniere asemănătoare cu cele deja studiate.

4.5.1. CONSTITUIREA STAŢIILOR TOPOGRAFICE DE URMĂRIRE

Staţiile topografice de urmărire a deplasării suprafeţei sub influenţa spaţiului subteran exploatat sînt constituite din aliniamente longitudinale şi transversale de urmărire.

Lungimea aliniamentelor este funcţie de poziţia, grosimea, adîncimea şi extinderea zăcămintelor subterane.

Pentru aliniamentele transversale, lungimea unui aliniament se stabileşte prin întocmirea unei secţiuni (fig. XV.81) suprafaţă-subteran transversale pe zăcămînt, pe care vor fi măsurate grafic H_A, H_B, H_C, L_E.

Lungimea aliniamentului transversal este dată de:

$$L_{tr} = 30 \text{ m} + (0{,}35 \operatorname{ctg} \beta_0) H_A + l_{eT} \cos \alpha + (\operatorname{ctg} \beta_0 + 0{,}25) H_B + 30 \text{ m}$$

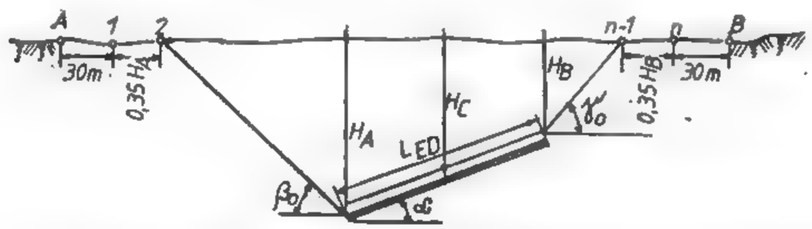


Fig. XV.81. Proiectarea lungimilor aliniamentelor de urmărire.

în care: L este înclinarea stratului

$$\beta_0 = \beta - 18^\circ + 1{,}5\alpha$$

$$\gamma_0 = \gamma - 15^\circ \qquad (4.214)$$

Valorile unghiurilor β, γ şi δ au fost stabilite experimental la zăcăminte asemănătoare.

Lungimea aliniamentului direcţional se determină cu relaţia:

$$L_d = 2[30 \text{ m} + (0{,}25 + \operatorname{ctg} \gamma_0) H_C + 0{,}5\ L_{ED}] \qquad (4.215)$$

în care L_{ED} este lungimea direcţională de exploatare.

Capetele aliniamentului vor fi considerate ca puncte de sprijin şi vor fi bornate. Punctele curente din fiecare aliniament vor fi amplasate la o distanţă de aproximativ 20 m, marcate prin şini metalice de cîte 1 m, bătute în sol la nivelul suprafeţei. Poziţia iniţială de interdistanţă (20 m) va fi marcată prin chernăruire. Trasarea staţiei va fi făcută conform secţiunii transversale şi longitudinale, care va consta în coliniaritatea reperelor şi a chernăruirilor.

După o perioadă de timp, vor începe operaţiile de măsurare bianuală, în care prima măsurătoare va fi considerată măsurătoare „zero" cu elementele înscrise în tabelul XV.5.

Tabelul XV.5

Măsurătoarea „zero"

Cotă punct i	Punct		Dist. oriz. D_0^*, i, $i+1$
	i	$i+1$	
100 000	A	1	26,913
86,250	1	2	20,580
80,608	2	3	20,370
⋮	⋮	⋮	⋮

4.5.2. EFECTUAREA MĂSURĂTORILOR

Se vor efectua simultan trei categorii de măsurători topografice şi anume:

— măsurarea diferenţei de nivel dintre repere pe două trasee, prin nivelment geometric de la mijloc de mare precizie — neînchiderea admisă ± 1 mm între cele două trasee, (aparat Koni 007, eroare ± 0,005 mm/observaţie);

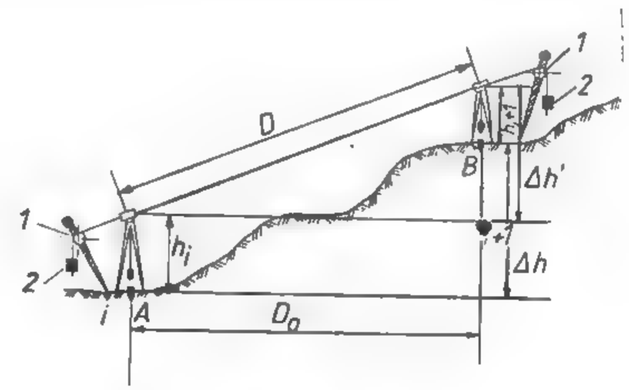


Fig. XV.82. Măsurarea lungimilor:
1 — scripete; *2* — greutate de 10 daN.

— măsurarea distanţelor în mod direct, prin serii de 5 observaţii, cu origini schimbate, folosind o ruletă întinsă pe scripeţi cu greutăţi calibrate de 10 daN. Punctele sînt semnalizate cu trepiede centrate cu dispozitive adecvate şi bastoane de măsurat înălţimea (...h_i, h_{i+1}, ...,) (fig. XV.82);

— măsurarea abaterii transversale cu ajutorul unui odontometru cu panou aşezat pe ambaza teodolitului, citirile efectuîndu-se pe rigla odontometrului.

Prelucrarea măsurătorilor constă în următoarele:

— se calculează diferenţa de nivel $\Delta h_{i,i+1}$ dintre repere, nefiind admisă o diferenţă între cele două observaţii pe trasee pe ± 1 mm;

— se calculează media aritmetică a celor 5 observaţii pentru distanţa pe înclinare $D_{i,i+1}$, nefiind admisă o diferenţă mai mare de ± 5 mm între două măsurători din seria de 5 observaţii;

— se calculează diferenţa de nivel h' pe trepiede, cu ajutorul relaţiei:

$$\Delta h'_{i,i+1} = \Delta h_{i,i+1} - h_i + h_{i+1} \qquad (4.216)$$

în care $h_{i,i+1}$ se introduce cu semnul respectiv + pentru creşterea diferenţei de nivel şi — pentru scăderea diferenţei de nivel.

Distanţa redusă la orizontală D_0 va rezulta din relaţia:

$$D_{0i,i+1} = \sqrt{D^2_{i,\,i+1} - \Delta h'^2_{i,i+1}} \qquad (4.217)$$

Tabelul XV.6

Prelucrarea mărimilor măsurate

Cota i	Puncte i	Puncte $i+1$	Δh	h_i	h_{i+1}	$\Delta h'$	D	D_0	Distanţă cumulată
1000,000	A	1	−13,760	1,042	1,200	−13,602	30,050	26,795	26,795
86,240	1	2	−5,639	1,200	0,982	−5,851	21,650	20,843	47,638
80,601	2	3	−3,366	0,982	1,297	−3,051	20,619	20,392	68,030

Toate aceste calcule vor fi efectuate într-un tabel de forma tabelului XV.6. Rezultatele acestor calcule vor fi înscrise într-un tabel (tabelul XV.7).

Tabelul XV.7

Fişa aliniamentului

		Parametri \ Picheţi		A	1	2	3	4
Determinarea aprilie 1979	1	Distanţe orizontale	m		26,795	20,843	20,392	19,998
	2	Distanţe cumulate	m		26,795	47,638	68,030	
	3	Nivelul reperului	m	100,000	86,240	80,601	77,235	
	4	Diferenţe de nivel	m		−13,760	−5,639	−3,366	
	5	Abateri transvers.	m		0	−1	−3	

4.5.3. INTERPRETAREA REZULTATELOR MĂSURĂTORILOR

Constă în stabilirea unor parametri conform următoarelor definiri.

Scufundarea suprafeţei (S_i) este coborîrea nivelului suprafeţei zonei respective, în raport cu nivelul iniţial al aceleiaşi zone, după relaţia:

$$S_i = H_i^* - H_i \text{ [mm]} \tag{4.218}$$

în care: H_i^* este cota punctului la măsurarea zero; H_i — cota curentă a reperului la un moment dat.

Se consideră că un reper de observaţie este stabil, din punct de vedere nivelitic dacă scufundarea finală este mai mică de 20 mm (triplul erorii de măsurare) pe punct şi că mişcarea de scufundare a încetat, dacă între ultimele trei măsurători de nivelment efectuate la intervale de cel puţin 3 luni, scufundarea este mai mică de 20 mm.

Înclinarea suprafeţei (I_i) este înclinarea unei zone de la suprafaţă faţă de poziţia sa iniţială; se determină prin raportul dintre diferenţele scufundărilor a două repere consecutive de observaţie şi distanţa orizontală dintre acestea, cu relaţia:

$$I_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{d_{oi,i+1}} \text{ [mm/m]} \tag{4.219}$$

în care: S_i este scufundarea unui reper; $S_{i,i+1}$ — scufundarea reperului următor; $d_{oi,i+1}$ — distanţa orizontală dintre cele două repere.

Înclinarea este o deformare a suprafeţei datorită scufundării şi nu are nimic comun cu înclinarea fizică a suprafeţei terenului.

Deplasarea orizontală (D_i^0) este deplasarea în plan orizontal a unui punct material situat în zona de influenţă a exploatării. Se determină prin diferenţa dintre depărtarea creată şi cea iniţială cu relaţia:

$$D_i^0 = D_i^* - D_i \tag{4.220}$$

în care: D_i^* este distanţa orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero; D_i — distanţa orizontală dintre repere la măsurarea curentă.

Deformaţia orizontală (ε_i) este definită ca alungirea (+) sau scufundarea (−) specifică a unei porţiuni de suprafaţă cuprinsă între două repere de observaţie, faţă de distanţa orizontală iniţială dintre acestea. Sînt de fapt întinderile şi compresiunile de-a lungul aliniamentului de observaţie şi se calculează cu relaţia:

$$\varepsilon_i = \frac{D_i^0}{D_i^*} \text{ [mm/m]} \tag{4.221}$$

în care: D_i^0 este deplasarea orizontală a reperului respectiv; D_i^* — distanţa orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero.

Raza de curbură (R_i) este definită ca fiind raza cercului osculator, al curbei dusă prin trei puncte ale acesteia şi se determină cu relaţia:

$$R_i = \frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1} - I_i} \text{ [km]} \tag{4.222}$$

în care: $D_{i,i+2}$ este distanţa între trei puncte consecutive în care punctul i este punctul curent; I_i — înclinarea în punctul curent; I_{i+1} — înclinarea în punctul de mijloc a distanţei studiate.

Curbura suprafeţei (C) este definită ca limita raportului dintre unghiul de convergenţă al tangentelor în punctele învecinate şi distanţa dintre acestea. De fapt este inversă razei de curbură:

$$C_i = \frac{1}{R_i} \text{ [(km}^{-1}\text{)]} \tag{4.223}$$

Toţi aceşti parametri vor fi calculaţi în tabele adecvate (tabelul XV.8).

Se întocmesc în continuare grafice separate pentru fiecare parametru în parte.

Întreg acest studiu va avea o *Fişă sintetică* în care vor fi trecute cele mai importante caracteristici de constituire şi urmărire a evoluţiei parametrilor. Conţinutul fişei

va cuprinde : denumirea staţiei de urmărire, stratul, blocul, exploatarea minieră, grosimea normală a stratului, înclinarea şi configuraţia suprafeţei, adîncimi medii, maxime şi minime de exploatare, prezenţa altor strate în acoperiş, a altor exploatări trecute şi prezente, numărul total de puncte de aliniament (separat pe transversal şi direcţional), numărul de aliniamente, datele efectuării observaţiilor, metoda de exploatare, metoda de dirijare a acoperişului, lungimea cîmpului de abataj, lungimea liniei de front, lungimea

Tabelul XV.8

Parametrii preluării de observaţii

Pct.	S_i [mm]	$S_{i+1}-S_i$ [mm]	$I_i=\frac{S_{i+1}-S_i}{d_{i,i+1}}$ [mm/m]	$D_{i+1}-I_i$	$D_{i,i+2}$	$R_{i+1}=\frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1}I_i}$ [m/mm]	$C_{i+1}=\frac{1}{R_{i+1}}$	D_i [mm]	$\varepsilon_i=\frac{D_i^0}{D_i^*}$
A	0	+10	0,373204	−0,517137	47,638	−92,118	−0,010855	118	+4,4038
1	+10	−3	−0,143933	0,585283	41,235	70,453	0,014938	−263	−11,3227
2	+7	+9	0,44135	−0,76363	39,200	−51,554	0,01939	−18	−0,8826
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

critică a cîmpului de abataj, lungimea critică a liniei de front, rezultatele evoluţiei parametrilor : S_{max}, I_{max}, D_{max}, ε_{max}, R_{max}. Fişa sintetică va conţine, de asemenea, unghiurile limită de scufundare (direcţional, în aval şi în amonte), unghiurile scufundării maxime, unghiurile de deformaţii maxime, unghiurile de rupere vizibilă a suprafeţei (direcţional, în aval şi în amonte).

În final vor fi determinate viteza maximă de scufundare a suprafeţei (mm/lună), timpul necesar realizării scufundării maxime (luni), mărimea zonei de exploatare în momentul realizării scufundării maxime, absolute, viteza medie de exploatare (m/lună). Studiul va fi utilizat la dimensionarea şi redimensionarea pilierilor de siguranţă din zone şi bazine miniere asemănătoare cu cea studiată pentru protejarea construcţiilor de la suprafaţă şi protecţia subteranului minei.

5. FOTOGRAMMETRIE TERESTRĂ

5.1. DEFINIŢIA ŞI SCOPUL FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria aparţine tehnicilor de măsurare ce îşi propune să studieze şi să definească cu precizie forma, dimensiunile şi poziţia în spaţiu a obiectelor, utilizînd în esenţă măsurători efectuate pe una sau mai multe fotografii ale obiectului.

Avantajele acestei tehnici utilizate în măsurători reies mai ales din caracteristicile imaginilor fotografice :

— dă obiectului o imagine completă, fără posibilităţi de omisie a detaliilor, foarte amănunţită, continuă şi de o mare precizie ;

— informaţiile conţinute pe imagine se obţin în acelaşi moment şi au o valoare mare de documentare pentru o anumită stare a obiectului ;

— ca document se manipulează uşor, conservarea fiind practic nelimitată şi este disponibil în orice moment pentru control, cercetări ulterioare ;

— poate fi fotografiat orice obiect solid, lichid, mic sau extrem de mare, staţionabil sau deformabil în timp, lent sau rapid.

Toate aceste proprietăţi arată că fotogrammetria furnizează procedee de măsură şi studiu de o mare fidelitate, mai uşor de folosit, mai rapide decît procedeele de măsurare directă.

Procedeele fotogrammetrice se aplică fără dificultate în cazuri în care alte procedee sînt inutilizabile (obiecte inaccesibile, în mişcare, rapide) sau s-ar utiliza cu un randament mic.

Fotogrammetria poate fi : *terestră* sau *aeriană*.

Fotogrammetria terestră se ocupă cu întregul proces, începînd cu preluările fotografice din staţii fixe de pe suprafaţa terestră pînă la reprezentarea lui sub formă analogică sau digitală (model numeric). Prin posibilitatea ei remarcabilă de a înmagazina informaţii şi de a permite măsurători de precizie, se foloseşte cu foarte mult succes în diferite domenii tehnice dintre care pot fi citate : topografia, industria minieră la sprafaţă şi în subteran, geologie şi geotehnie, trasări şi deformaţii ale construcţiilor, alunecări şi scufundări de terenuri, urmărirea comportării utilajelor grele în funcţionare etc.

Pentru fiecare domeniu de aplicare intervine o caracteristică a condiţiilor de efectuare a măsurătorilor.

5.2. BAZA GEOMETRICĂ A FOTOGRAMELOR

5.2.1. FOTOGRAMA CA PROIECŢIE CENTRALĂ

Imaginea fotografică pe care se efectuează măsurătorile în vederea determinării formei şi poziţiei obiectelor în spaţiu se numeşte *fotogramă* ; din punct de vedere geometric este o proiecţie centrală.

Practic, fotograma este obţinută cu ajutorul obiectivului fotogrammetric ce are rol de *centru de proiecţie* şi o poziţie bine determinată în spaţiu, atît faţă de obiect cît şi de planul pe care se formează imaginea. Razele de proiecţie, ce pleacă de la punctele *A*, *B*, *C* ..., din spaţiul real şi trec prin centrul de proiecţie *O*, formează pe planul imagine punctele imagine *a*, *b*, *c* ..., realizînd astfel o corespondenţă între punctele corespondente (fig. XV.83). Unui punct imagine *a* din planul fotogramei pot să-i corespundă însă o

infinitate de puncte din spaţiul real $A_1, A_2 \ldots, A_n$. Această corespondenţă nu mai este univocă. Deci proiecţia centrală plană nu este o corespondenţă biunivocă între punctele spaţiului real şi imaginile lor pe planul imagine numai în cazuri bine determinate.

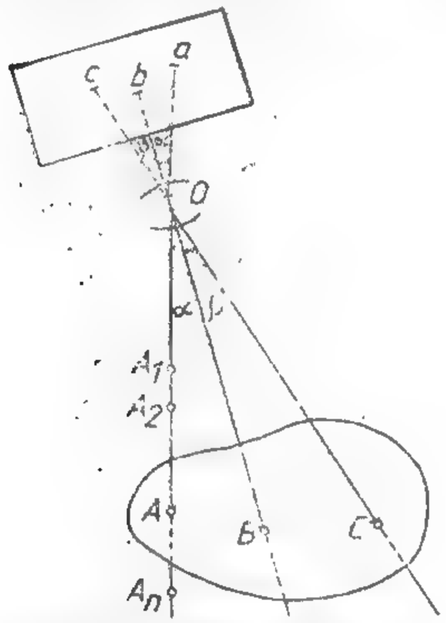


Fig. XV.83. Fotograma ca proiecţie centrală.

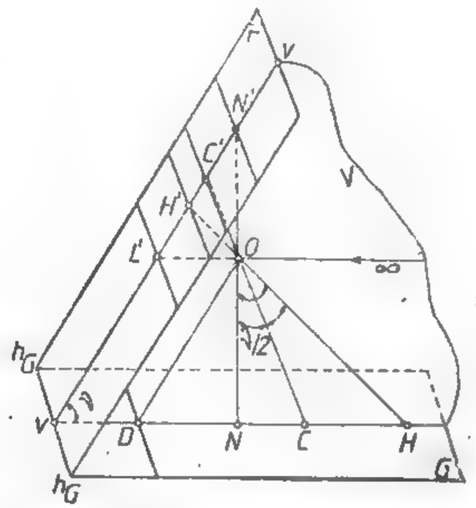


Fig. XV.84. Elementele proiecţiei centrale.

5.2.2. ELEMENTELE PROIECŢIEI CENTRALE

În figura XV.84 sînt date elementele de bază ale proiecţiei centrale, ce stabilesc geometric legătura dintre punctele spaţiului real şi imaginile lor pe perspectiva centrală plană. Astfel :

G este planul geometralului (al terenului), plan orizontal pe care se face proiecţia ortogonală a suprafeţei terestre ;

F — planul imaginii (fotograma) ;

O — centrul de proiecţie (centrul obiectivului fotogrammetric) ;

V — planul vertical principal (plan vertical ce trece prin O şi este perpendicular pe G şi F) ;

vv — verticală principală — intersecţia dintre planul vertical principal V şi planul imagine F ;

ν — unghiul nadiral (înclinarea planului fotogramei faţă de geometral) ;

$h_G - h_G$ — orizontală principală (linia de pămînt), linia de intersecţie a planului geometralului şi al fotogramei. Fiind dreaptă comună între două plane orizontale, paralele cu ea din planul geometralului, îşi vor forma imaginea tot paralel cu ea pe planul imagine ;

H' — punct principal — punctul de intersecţie al perpendicularei din O pe planul imagine ;

OH' — distanţa principală (focală) în cazul obiectivilor fotogrammetrici ;

N' — punct nadiral — intersecţia verticalei din O cu planul imagine ;

N — punct nadir — intersecţia verticalei din O cu planul geometralului ;

ON — distanţa nadirală — înălţimea centrului de proiecţie faţă de geometral ;

L' — punct principal de fugă — punctul unde direcţia ce trece prin centrul de proiecţie O şi este paralelă la planul geometralului întîlneşte planul imagine. Este punctul caracteristic cu ajutorul căruia se proiectează central dreptele conţinute în planul geometralului ;

C' — izocentru sau metacentru — intersecţia bisectoarei unghiului ν şi planul fotogramei. Acest punct se numeşte *punctul deformaţiilor nule* deoarece direcţiile ce se sprijină pe el în planul geometralului se proiectează după direcţii paralele cu ele pe planul imagine, de asemenea, scara pe toate direcţiile ce trec prin acest punct are o valoare constantă.

Punctele H', N', L' şi C' se află toate pe verticala principală. Distanţele între aceste puncte se determină cu ajutorul relaţiilor :

$$H'N' = f \operatorname{tg} \nu; \quad H'C' = f \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}; \quad H'L' = \frac{f}{\operatorname{tg} \nu}; \tag{5.1}$$

$$ON' = \frac{f}{\cos \nu}; \; O'L' = \frac{f}{\cos \nu}; \; O'C' = \frac{f}{\cos \frac{\nu}{2}}; \; L'N' = \frac{2f}{2 \sin 2\nu}$$

Dacă planul fotogramei este vertical ($\nu = 90°$) sîntem în cazul fotogrammetriei terestre. În acest caz :

$$OH' = OL' = H'C' = f \qquad (\text{punctul } L' = N') \tag{5.2}$$

$$H'N' = ON' = L'N' = \infty \qquad (N' = \infty)$$

$$OC' = f\sqrt{2}$$

5.2.3. SISTEME DE COORDONATE UTILIZATE ÎN FOTOGRAMMETRIE

Pentru stabilirea relaţiilor între proiecţie şi obiectul real se vor considera sisteme de coordonate convenţional alese, în care se pot ordona punctele imagine, respectiv punctele reale (ale obiectului) (fig. XV.85). Sistemele de coordonate sînt astfel definite încît corespund indicaţiilor internaţionale.

a) Sistemul de coordonate fotogrammetrice este un sistem rectangular plan, cu originea în punctul principal H', axele sistemului sînt definite de direcţiile ce unesc indici de referinţă ai fotogramei. Pentru fotogrammetria terestră aceste axe sînt x', z'.

b) Sistemul de coordonate (spaţial (X, Y, Z) cu originea în centrul de proiecţie. Direcţia axei Z este verticală, iar axa Y corespunde cu direcţia de fotografiere în foto-

grammetria terestră. Axa X este perpendiculară pe Y şi paralelă cu axa x' a planului imagine.

c) Sistemul de coordonate geodezic $(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z})$ este definit, de asemenea, în spaţiul real şi este adoptat la nivelul ţării sau local de unitatea topografică respectivă.

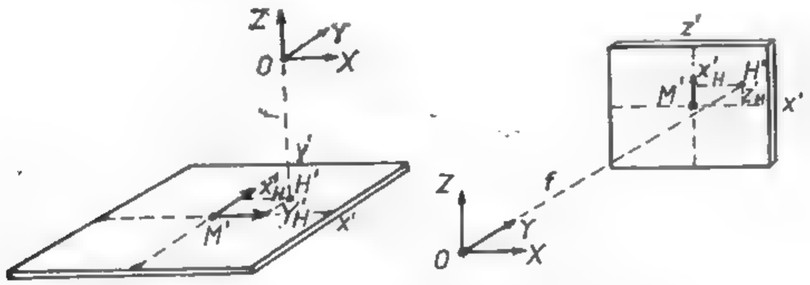


Fig. XV. 85. Sisteme de coordonate.

5.2.4. ELEMENTELE DE ORIENTARE A FOTOGRAMELOR

Elementele de orientare ale fotogramelor stabilesc corespondenţa biunivocă între punctele spaţiului real şi imaginile lor pe planul fotogramei. Cu ajutorul lor poate fi reconstituită poziţia fotogramei în momentul fotografierii. Aceste elemente se împart în : *elemente de orientare interioară şi elemente de orientare exterioară.*

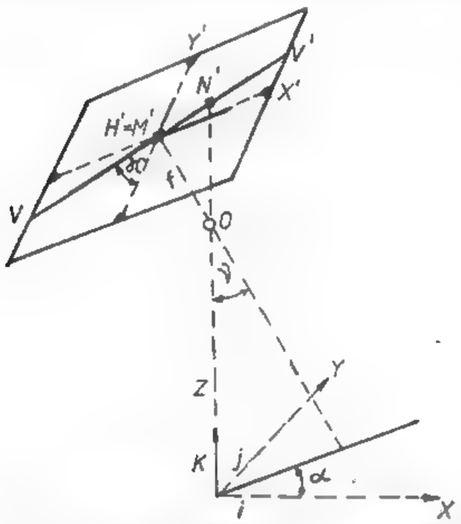


Fig. XV.86. Elemente de orientare exterioară a fotogramelor.

a) Elementele de orientare interioară determină poziţia centrului de proiecţie (a obiectivului) faţă de planul fotogramei. Aceste elemente sînt : distanţa principală (focală) a obiectivului camerei fotogrammetrice şi coordonatele fotogrammetrice ale punctului principal x'_H, z'_H, (x'_H, y'_H în fotogrammetria aeriană). Ele se determină cu precizie ridicată de către firma constructoare şi se imprimă automat în timpul fotografierii pe planul fotogramei (fig. XV.85).

b) Elementele orientării exterioare (fig. XV. 86) determină poziţia fascicolului fotogrammetric în spaţiu. Acestea sînt coordonatele geodezice ale centrului de proiecţie $\overline{X}_0$, $\overline{Y}_0$, $\overline{Z}_0$ şi trei unghiuri independente ce arată poziţia spaţială a planului imagine :

α — unghiul de direcţie (unghiul dintre direcţia axei X şi direcţia axei de fotografiere) ;

ν — unghiul de înclinare al fotogramei ;

$\varkappa$ — unghiul de rotaţie al fotogramei (format de direcţia axei Y cu verticala principală). Aceste elemente se determină prin metode geodezo-topografice cunoscute sau prin reperajul fotogrammetric.

În fotogrammetria terestră poziţia fotogramei fiind bine cunoscută (plan vertical), elementele orientării exterioare se reduc la coordonatele centrului de proiecţie, determinarea lor fiind practic mult simplificată.

5.2.5. RELAŢIILE ANALITICE ALE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Pentru a stabili analitic corespondenţa între coordonatele (X_P, Y_P, Z_P) punctului din spaţiul real şi coordonatele fotogrammetrice ale imaginii sale, vom face apel la elementele de orientare ale fotogramelor.

Vom considera punctele spaţiului real ordonate faţă de sistemul $C\,X\,Y\,Z$. Punctele imagine corespunzătoare le ordonăm faţă de sistemul de axe al fotogramei $x'z'$ (fig. XV.87).

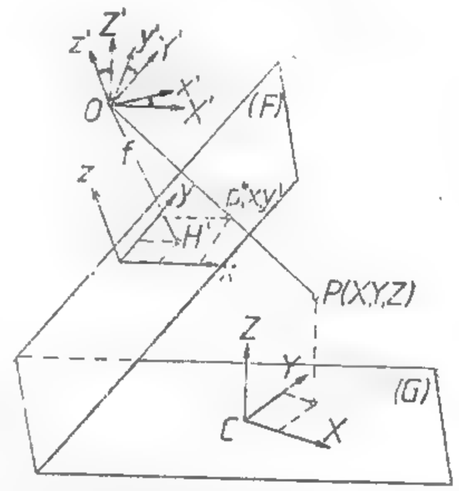


Fig. XV.87. Relaţii între coordonatele punctelor imagine şi coordonatele spaţiale.

Pentru a putea realiza transformarea coordonatelor dintr-un sistem în celălalt vom considera ambele sisteme cu aceeaşi origine, aceasta fiind centrul de proiecţie O, punct bine determinat. Faţă de aceste sisteme vom putea defini poziţia unui punct p' din planul imagine cu relaţia :

$$\begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \qquad (5.3)$$

în care R — reprezintă matricea de rotaţie a celor două sisteme şi care pentru planul vertical al fotogramei (axele corespondente celor două sisteme fiind pe aceeaşi direcţie) este :

$$R = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad (5.4)$$

Sistemul X', Y', Z' fiind o translaţie a sistemului $X\,Y\,Z$ în punctul $O(X_O, Y_O, Z_O)$, poate fi scris sub forma :

$$X' = X - X_O\,; \quad Y' = Y - Y_O\,; \quad Z' = Z - Z_O \qquad (5.5)$$

Dacă se pune şi condiţia de coliniaritate ce trebuie să existe între punctul real P, centrul de proiecţie O şi punctul imagine p' :

$$\frac{X_P - X_O}{X'_{p'}} = \frac{Y_P - Y_O}{Y'_{p'}} = \frac{Z_P - Z_O}{Z'_{p'}} = \lambda. \qquad (5.6)$$

vom obţine relaţia :

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{pmatrix} + \lambda \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ f \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \tag{5.7}$$

relaţie ce exprimă complet legătura între punctele spaţiului real şi imaginile lor din planul fotogramei.

Coordonatele punctului imagine $p'(x' z')$ se obţin rezolvînd sistemul de ecuaţii format prin eliminarea factorului λ din relaţie, astfel :

$$x'_{p'} = f\,\frac{(X_P - X_O)}{Y_P - Y_O}$$

$$z'_{p'} = f\,\frac{(Z_P - Z_O)}{Y_P - Y_O} \tag{5.8}$$

Sistemul are soluţii unice şi bine determinate. Dacă considerăm că originea sistemului spaţial $X\,Y\,Z$ se află în centrul de proiecţie O (fig. XV.88) atunci vom avea :

$$x'_{p'} = f\,\frac{X_P}{Y_P}\,; \qquad z'_{p'} = f\,\frac{Z_P}{Y_P} \tag{5.9}$$

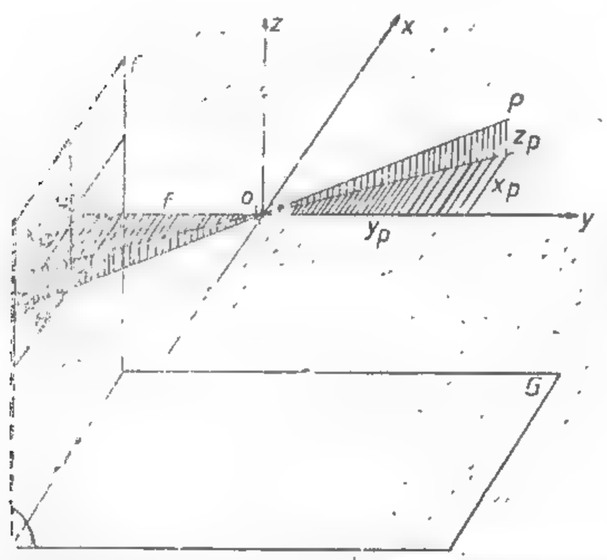


Fig. XV.88. Corespondenţa între coordonatele imagine şi coordonatele spaţiale ale punctelor în cazul fotogrammetriei terestre.

sau invers, putem calcula coordonatele spaţiale ale unui punct cu ajutorul coordonatelor punctului imagine :

$$X_P = \frac{Y_P}{f}\,x'_{p'}\,; \quad Z_P = \frac{Y_P}{f}\,z'_{p'} \tag{5.10}$$

Relaţiile stabilite mai sus permit ca pornind de la punctele imagine p'_i să se determine poziţia punctelor P_i din spaţiul real.

5.3. VEDEREA STEREOSCOPICĂ

5.3.1. VEDEREA BINOCULARĂ NATURALĂ

Capacitatea de apreciere a profunzimii (adîncimii reliefului), utilă în măsurătorile fotogrammetrice, se obţine numai cu ajutorul vederii binoculare.

Ochiul uman, organul cu care se realizează vederea spaţială, poate fi considerat ca un sistem optic, al cărui obiectiv (centru de proiecţie) este cristalinul, iar planul focal pe care se formează imaginea virtuală a obiectului privit este partea cea mai sensibilă a retinei — pata galbenă. Cristalinul are capacitatea de a-şi modifica curbura cu ajutorul muşchilor ciliari, astfel ca punctele reale situate la diferite distanţe să-şi formeze imaginea pe pata galbenă. Această proprietate a ochiului se numeşte *acomodare*. După cum impulsurile luminoase impresionează celulele retinei, punctele obiectului se pot distinge separat sau confundat. Unghiul minim sub care două puncte se observă în mod separat poartă denumirea de *acuitatea vederii* şi are valoarea de 20—30″.

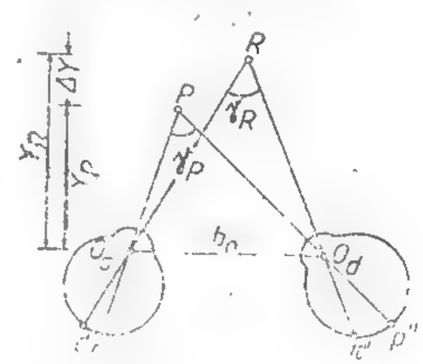


Fig. XV.89. Vederea spaţială naturală.

Observarea simultană a unui obiect cu ambii ochi în anumite condiţii permite realizarea percepţiei spaţiale a acestuia, ca urmare a fenomenului de *fuziune binoculară*. Imaginile obiectului formate pe retinele celor doi ochi, diferite între ele, se transmit prin intermediul nervilor optici scoarţei cerebrale care, printr-un proces fiziologic le transformă într-un model spaţial.

Fie punctele O_s şi O_d centrele de proiecţie ale celor doi ochi, P şi R punctele din spaţiu, p', p'', r', şi r'' imaginile acestor puncte pe retine (fig. XV.89). Unghiul format de axele orizontale ale ochilor spre punctul din spaţiu poartă denumirea de *unghi de convergenţă*. Mărimea lui depinde de depărtarea Y la care se găseşte punctul real şi de valoarea bazei oculare b_0 ($b_0 = 55-74$ mm). Variaţia unghiului de convergenţă $\Delta\gamma = \gamma_P - \gamma_R$ poartă denumirea de *paralaxă stereoscopică unghiulară*.

Din fig. XV.89 se poate scrie :

$$Y_P = \frac{b_0}{\gamma''_P}\,p'' \tag{5.11}$$

Prin diferenţierea relaţiei (5.11) se obţine :

$$\Delta Y = -\,\frac{b_0}{\gamma^2}\,\rho''\,\Delta\gamma'' \tag{5.12}$$

sau

$$\Delta Y = -\,\frac{y}{b_0}\,\frac{\Delta\gamma''}{\rho''} \tag{5.13}$$

Relaţia (5.13) arată dependenţa dintre profunzimea ΔY şi paralaxa stereoscopică unghiulară $\Delta\gamma$. Diferenţa dintre imaginile individuale ale ochilor $l_s - l_d = p$ se numeşte

paralaxă stereoscopică liniară şi este direct proporţională cu paralaxa unghiulară $\Delta\gamma$. Deci :

$$l_s - l_d = p = K \cdot \Delta\gamma \qquad (5.14)$$

înlocuind în relaţia (5.13) se obţine :

$$\Delta Y = -\frac{y}{b_0} \cdot p \; K' \qquad (5.15)$$

Se poate spune că şi existenţa paralaxei stereoscopice liniare creează profunzime între punctele obiectului.

Pentru ca să se producă percepţie spaţială (efectul stereoscopic) nu trebuie depăşite valorile limită ale paralaxei stereoscopice ($\Delta\gamma_{max} \simeq 1'$ şi $\Delta\gamma_{min} \simeq 20''$). Pentru o valoare limitei acuităţii stereoscopice se obţine conform relaţiei (5.11) distanţa Y pînă la care se poate realiza percepţia stereoscopică.

Astfel pentru $\Delta\gamma''=20''$, $Y = \frac{b_0}{\Delta\gamma''}\rho'' = \frac{65}{20''} 206265 \simeq 670$ m

dacă se consideră că $b_0 = 74$ mm, depărtarea Y poate fi de $= 800$ mm.

În funcţie de limitele între care variază acuitatea şi baza interpupilară, distanţa percepţiei stereoscopice directe este cuprinsă între 500 şi 800 m. Pe lîngă parametrii menţionaţi, vederea spaţială directă este influenţată de o serie de factori fiziologici (defecte ale vederii) şi fizici, cum ar fi intensitatea luminii şi contrastul între obiecte etc.

5.3.2. VEDEREA STEREOSCOPICĂ ARTIFICIALĂ

Condiţiile vederii stereoscopice. Vederea spaţială a unui obiect se poate obţine şi pe cale indirectă, fiind observate în condiţii impuse două imagini perspective F_1 şi F_2 ale obiectului, realizate din două centre de proiecţie diferite (fig. XV.90). O astfel de vedere se numeşte *vedere stereoscopică artificială*, iar cele două imagini fotografice ce realizează efectul stereoscopic formează un *cuplu stereoscopic*. Pentru ca percepţia stereoscopică să se realizeze trebuie ca imaginile perspective să îndeplinească următoarele condiţii :

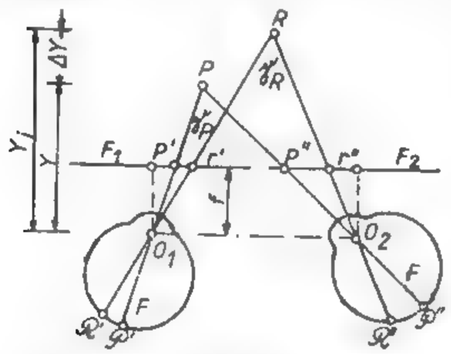


Fig. XV.90. Vederea stereoscopică artificială.

— imaginile trebuie să se deosebească prin paralaxa stereoscopică liniară p, ca atare se realizează din puncte diferite, distanţa dintre aceste puncte denumindu-se *bază de fotografiere* b;

— observarea fotogramelor să se facă concomitent; fiecărui ochi să-i corespundă o imagine impusă. Pentru a obţine efectul stereoscopic direct (ortoscopic), ochiul stîng va observa fotograma din punctul stîng al bazei, iar ochiul drept din punctul drept. Dacă imaginile se vor inversa se va obţine o imagine stereoscopică inversă, un efect pseudoscopic;

— razele vizuale ale ochilor pornite de la punctele imagine trebuie să se intersecteze în spaţiu sub unghiul de convergenţă cerut de vederea spaţială directă.

Pentru ca imaginea stereoscopică să reprezinte fidel obiectul real trebuie ca:

— baza de preluare b să fie egală cu baza de observare b_0;

— distanţa de observare f să fie aceeaşi cu distanţa focală a aparatului de preluare.

În cazul vederii stereoscopice artificiale, baza de preluare este mărită cu un număr n ori faţă de cea de observaţie (sute sau chiar mii de ori). În acest caz observarea cu o bază b_0 a imaginilor F_1 şi F_2 preluate în o bază b realizează un model stereoscopic micşorat apropiat de bază de acelaşi număr de ori (fig. XV.91). Apropierea modelului de observator măreşte şi acuitatea stereoscopică de acelaşi număr de ori (fig. XV.91, *a*).

Modificarea distanţei de observare de v ori faţă de distanţa principală de la preluarea fotogramelor are efect, de asemenea, asupra modelului stereoscopic format. Vederea stereoscopică formată prin intermediul imaginilor respective va apare mai apropiată

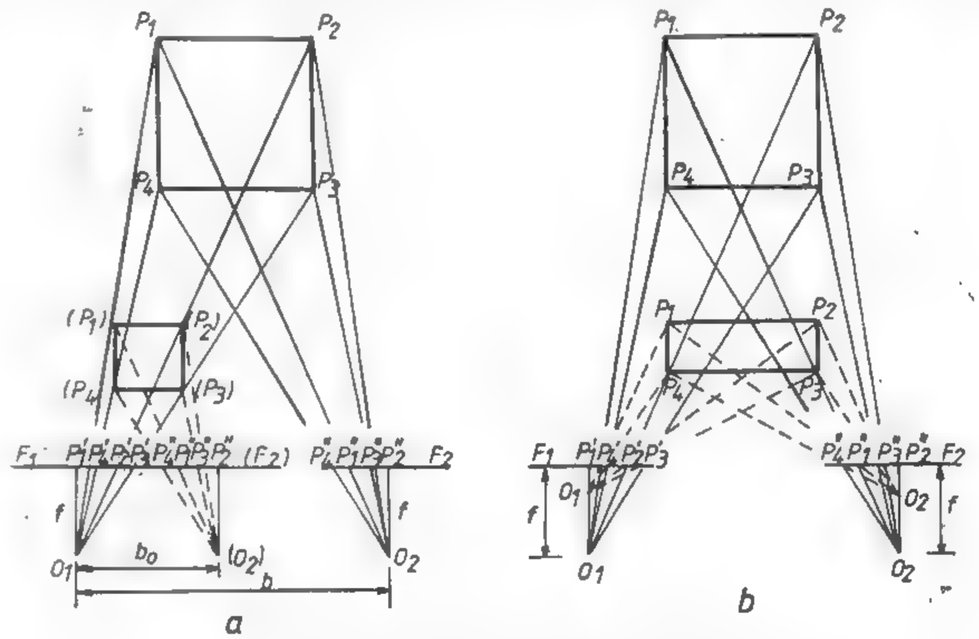


Fig. XV.91. Model stereoscopic :

a — omotetic deformat; *b* — deformat prin modificarea distanţei de observare.

de bază, dar şi deformată în profunzime cu acelaşi număr v (fig. XV. 91,*b*). Rămîn neschimbate numai direcţiile paralele cu baza de preluare. Prin deformarea profunzimi acuitatea percepţiei spaţiale scade, însă va creşte de v ori datorită apropierii modelului. Prin aplicarea concomitent a ambelor posibilităţi se obţine o mărime de n, v a acuităţii percepţiei în profunzime a modelului.

Aceste căi de îmbunătăţire a percepţiei în profunzime sînt utilizate la aparatura de observare stereoscopică.

Observarea stereoscopică. Observarea modelului spaţial indirect se realizează cu ajutorul unor instrumente numite *stereoscoape*. Din punct de vedere constructiv ele pot fi cu lentile, cu prisme sau cu oglinzi. Prin combinarea tipurilor de bază se obţin diferite tipuri de stereoscoape. Caracteristica tuturor stereoscoapelor constă în sistemul optic astfel realizat încît să permită realizarea condiţiilor vederii stereoscopice şi anume, separarea imaginilor oferite ochilor observatorului şi orientarea reciprocă a imaginilor.

Pentru a obţine modelul stereoscopic, cuplul stereoscopic trebuie orientat faţă de baza de observaţie. În cazul fotogramelor terestre, orientarea rezultă prin poziţionarea paralelă a axelor $x - x'$ a fotogramelor faţă de baza de observaţie. În fig. XV.92 este prezentat stereoscopul cu oglinzi.

Măsurarea stereoscopică. Modelul stereoscopic obţinut prin observarea stereoscopică a stereogramei permite efectuarea de măsurători în scopul determinării formei, mărimii şi poziţiei obiectului. Măsurarea stereoscopică are la bază *principiul mărcii mobile a lui* Stolze (1892), preluat şi îmbunătăţit de Pulphrich şi aplicat la construcţia aparatelor de restituţie.

În fotogrammetrie marca mobilă este denumită marca spaţială percepută de observarea stereoscopică a două mărci parţiale. Mărcile parţiale m_1 şi m_2 se plasează în aşa fel încît să indice riguros poziţia punctelor omoloage p', p'', pe stereogramă. În această situaţie, în cîmpul modelului va apare marca spaţială (M) în coincidenţă cu punctul P al modelului spaţial (fig. XV. 93). Nesuprapunerea perfectă a uneia sau a ambelor mărci m_1 şi m_2 pe punctele imagine face ca marca spaţială să părăsească modelul, aflîndu-se fie deasupra lui, fie în profunzime, producînd greşeli în măsurare.

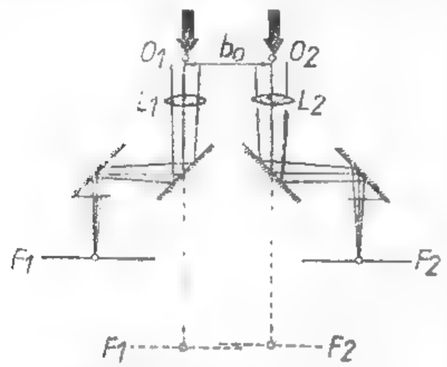


Fig. XV.92. Stereoscopul cu oglinzi.

Mărcile parţiale de măsurare pot avea diferite forme (puncte, cercuri, cruce), pot fi negre sau luminoase. Ele echipează orice aparat de restituţie stereofotogrammetrică şi pot fi realizate virtual prin intersecţia traseelor optice corespunzătoare celor două mărci portabile sau într-o formă reală prin materializarea ei în cîmpul stereomodelului.

Legătura mărcilor parţiale cu un dispozitiv de citire sau de desenare corespunzător defineşte coordonatele modelului prin intermediul coordonatelor

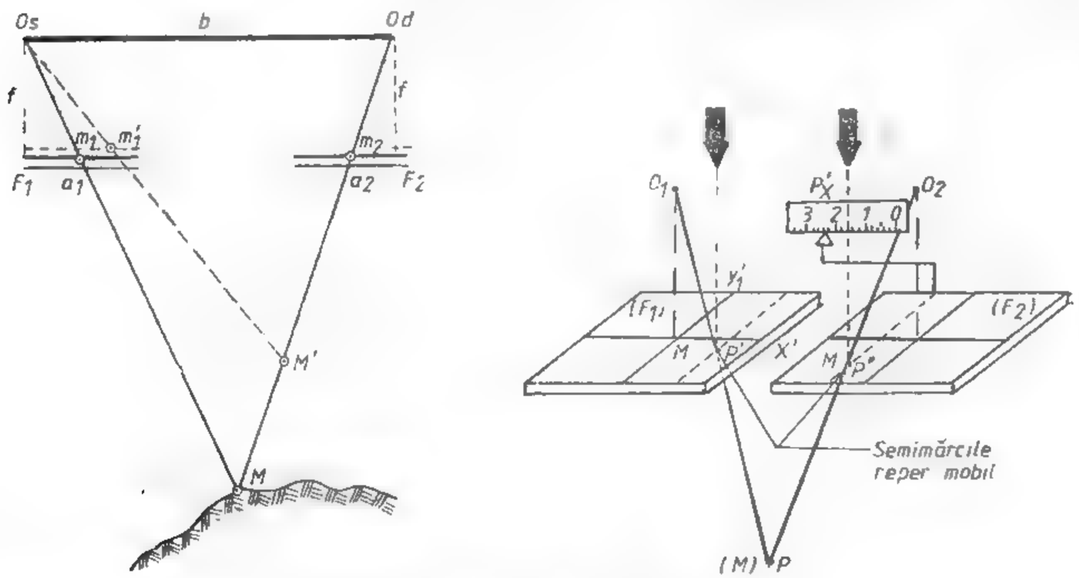


Fig. XV.93. Principiul măsurării stereoscopice.

fotogrammetrice $x'z'$ sau a paralaxelor p_x şi p_z. Astfel că, prin deplasarea mărcii spaţiale pe modelul optic, este posibilă restituţia continuă a modelului prin izolinii sau curbe de nivel. Acest lucru reprezintă un avantaj incontestabil al măsurării fotogrammetrice.

5.4. APARATURA DE FOTOGRAFIERE

Pentru obţinerea fotogramelor terestre se folosesc camere de fotografiat speciale ale căror elemente de orientare interioară sînt cunoscute sau posibil a fi cunoscute. În general, o cameră metrică se compune dintr-un corp al camerei, obiectivul fotografic şi un plan riguros dispus pe cadrul camerei — planul focal.

Acest plan focal, perpendicular pe axa de fotografiere, se află faţă de pe punctul nodal al obiectivului, la o distanţă f egală cu distanţa focală a acestuia. Pe cadrul camerei de fotografiat sînt dispuşi patru indici de referinţă la intersecţia axelor ce îi unesc, definindu-se poziţia punctului principal H'. Prin fotografierea acestor indici se formează imaginea lor pe fotogramă. Un rol important în realizarea imaginii fotografice îl are *obiectivul fotogrammetric*. Pentru ca acesta să dea o imagine riguroasă a obiectului fotografiat, trebuie să aibă următoarele calităţi : claritate mare, să fie lipsit de aberaţia de distorsie, putere de rezolvare mare, curbura de cîmp mică, cîmp angular potrivit (se folosesc obiective cu unghiul de cîmp de 60°— 120°).

Pe lîngă aceste părţi componente principale, camerele de fotografiere terestreă trebuie să mai fie prevăzute cu :

— dispozitiv de orientare (pentru determinarea direcţiei de fotografiere) ;
— şuruburi de calare pentru verticalizarea planului imagine ;

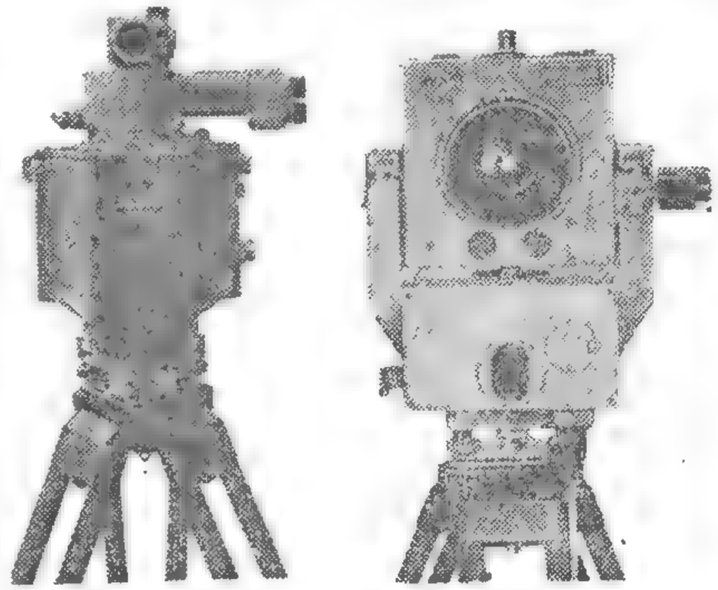


Fig. XV.94. Camere fotogrammetrice.

— nivele pentru orizontalizarea axei de fotografiere şi a axei de vizare a lunetei ;
— alte dispozitive anexe (pentru determinarea cîmpului de fotografiere şi înscrierea datelor necesare restituţiei).

Camerele metrice de preluare folosite în fotogrammetria terestră se împart în două categorii :

— camere fotogrammetrice individuale (de tipul fototeodolitelor, fig. XV.94) ;
— camere fotogrammetrice duble sau camere stereometrice (fig. XV.95).

Fototeodolitul (fig. XV.96) este construit dintr-o cameră metrică de fotografiere *1* şi un dispozitiv de orientare *2* cu axa verticală comună. Dispozitivul de orientare, legat

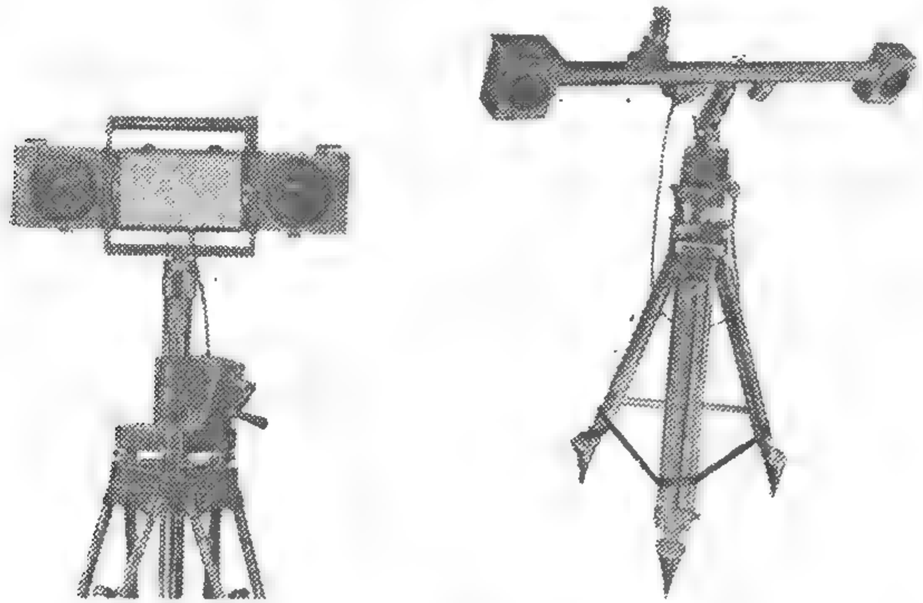


Fig. XV. 95. Camere stereometrice.

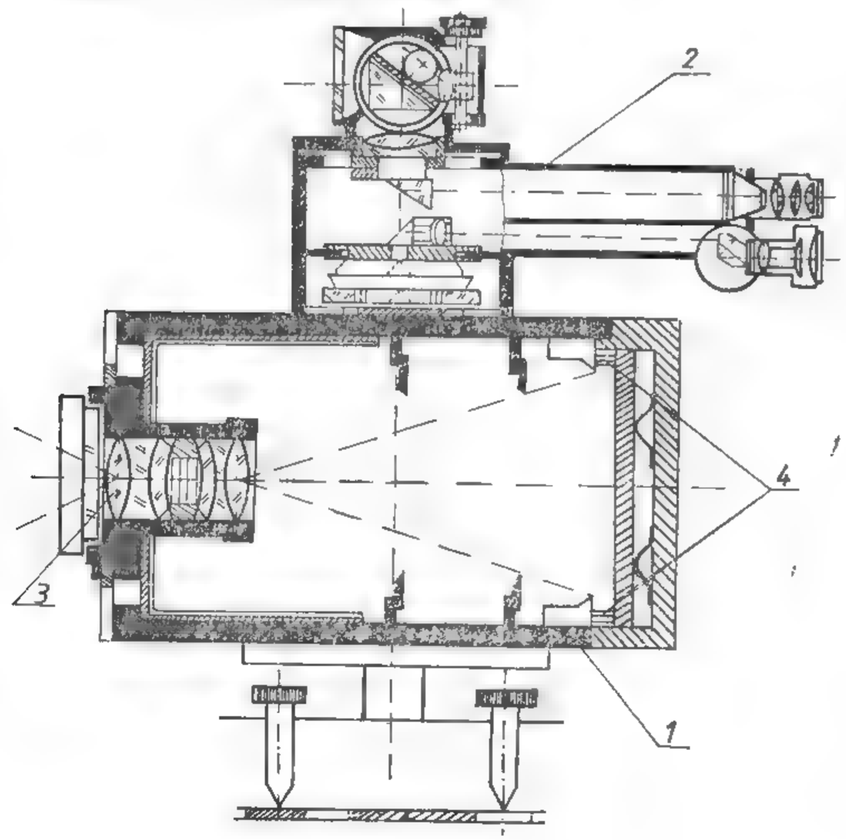


Fig. XV.96. Fototeodolitul.

rigid de cameră sau detaşabil, îndeplineşte funcţia de teodolit şi este necesar determinării elementelor de orientare exterioară. De regulă, fototeodolitele sînt construite cu axa de fotografiere orizontală, iar pentru creşterea cîmpului de fotografiere pe verticală, obiectivul aparatului (3) are posibilitatea de a culisa riguros în plan vertical în sus şi jos, deplasare ce trebuie să fie în strînsă legătură cu indicii de referinţă (4) de pe cadrul camerei. Există şi fototeodolite cu camera fotogrammetrică mobilă, care au posibilitatea ca axa de fotografiere să facă diferite unghiuri de înclinare (oarecare sau determinate).

În funcţie de domeniul de utilizare, fototeodolitele se pot împărţi în :

— fototeodolite cu profunzime de cîmp între 20 m şi cu deschiderea diafragmei constantă ;

— fototeodolite cu profunzime de cîmp redusă şi cu difragma reglabilă.

Fototeodolitele din prima categorie servesc pentru măsurători în scopuri topografice, atunci cînd obiectele se află la distanţă mare faţă de aparatul de fotografiat, iar cele din a doua categorie servesc pentru realizarea fotogramelor în scopuri speciale (studiul deformaţiilor etc.). Caracteristicile şi parametrii tehnici sînt date în tabelul XV.10.

Camere stereometrice. Sînt formate din două camere fotogrammetrice identice montate pe o bară de lungime fixă sau variabilă (v. fig. XV. 95). Axele de fotografiere a celor două camere metrice terebuie să fie riguros paralele între ele şi perpendiculare pe bază ; ele pot fi orizontale sau pot face un unghi de înclinare cu orizontala.

Acţionarea camerei stereometrice în vederea realizării fotogramelor este centralizată. La unele aparate sistemul bazei şi al celor două camere poate fi ridicat sau coborît la înălţimea dorită de fotografiere. Camerele stereofotogrammetrice se utilizează în fotografierea obiectelor la distanţă mică (1,5—10 m), în spaţiu restrîns, unde este dificilă amplasarea şi realizarea unei baze fotogrammetrice prin fotografiere cu camere izolate.

Prin simplitatea construcţiei lor, a modului de executare a fotogramelor, precum şi prin faptul că în restituţia fotogramelor realizate se utilizează relaţii simple, utilizarea lor este avantajoasă în multe domenii de activitate. În tabelul XV.11 (v. p. 566) sînt date caracteristicile şi parametrii tehnici ai camerelor stereofotogrammetrice.

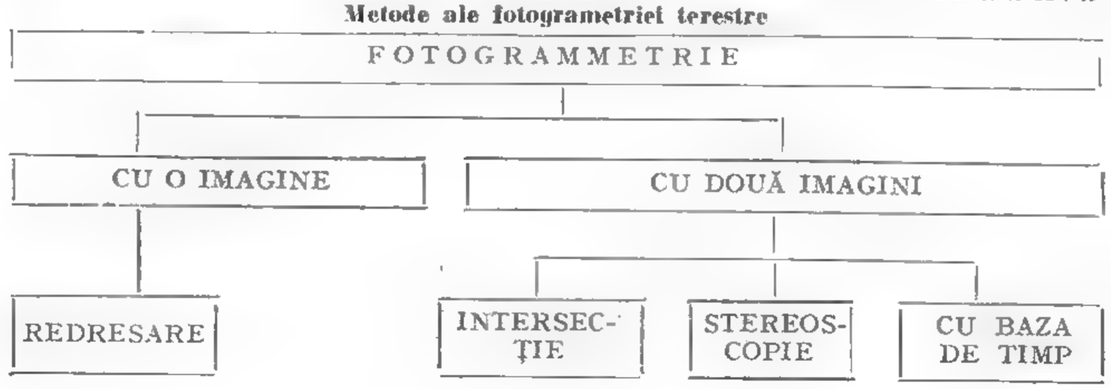
5.5. METODELE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria terestră se ocupă cu metodele, procedeele, prin care se determină forma, poziţia şi dimensiunile obiectelor din spaţiu pe baza măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice obţinute din puncte fixe de pe suprafaţa terestră.

Practic reconstituirea spaţială se realizează printr-un ansamblu de operaţii de fotografiere, măsurare şi reprezentare a rezultatelor, fie sub formă numerică, fie sub formă

Tabelul XV.9

Metode ale fotogrametriei terestre



Tabelul XV.10

Caracteristici tehnice ale fototeodolitelor

Denumirea	Producătorul	Formatul fotogramelor [cm × cm]	Distanţa focală [mm]	Deschiderea diafragmei obectivului	Unghi de cîmp pe orizontală/pe verticală	Axa de fotografiere	Interval de fotografiere [m]	Suportul foto placă/film
Fototeodolitul Phototheo 19/1318	Carl Zeiss Jena—R.D.G.	13 × 18	190	1: 25 constant	52g / 38g	0	25—∞	p
Fototeodolitul TAF	Aerotopograf R.F.G.	13 × 18	160	1:25 constant	0	0	2 —∞	p
Fototeodolitul MK 165	Sokkisha Japonia	12 × 16,5	165			0		p
Cameră universală UMK 10/1318 FP FF ND NF	Carl Zeiss Jena—R.D.G.	13 × 18	100	1: 8 valabil 8...3	88 / 68g	0, v şi î (+90 la —30° din 15° în 15°)	25—∞ / 2,1—∞	p / p/f / p / p/f
Fototeodolitul Wild P 30	Wild Elveţia	10 × 15	165	1: 12 constant	60°	0, î (+7°—28° din 7° în 7°)	30—∞	p
Cameră terestră universală Wild P31	Wild Elveţia	9 × 12	100	1:5,6 variabil 5,6—22	67,5°	0,v, î(±7°; ±14°; ±25°; ±30°;+100°	25—∞ (cu lentile adiţionale)	p/f

Cameră terestră Wild P 32	Wild Elveţia	6,5 × 9	64	1·8 8...2	—	0, î (0— 40°)	3,3—∞	p/f
Cameră terestră TMK-6	Zeiss Oberkochen R.F.G.	9 × 12	60	1:11 constant	72°	0, v,î (+30°; ±70°; +100°)	2,5—∞	f/p
Cameră terestră TMK-12	Zeiss Oberkochen R.F.G.	9 × 12	120	1:8 8...16	72°	0, v,î (+30°; ±70°; +100°)	20—∞	f/p
Fototeodolit FTG-1	Galileo Italia	10 × 15	155	—	—	0, î (0—40°)	1 —∞	p/f
Verostat	Galileo Italia	9 × 12	100	—	—	0, v, î (0—100°)	2—∞	p
Veroplast	Galileo Italia	3 × 18	150	1:6,3 6,3...25	—	0, v, î (0—100°)	2—∞	p

Tabelul XV.11

Caracteristici tehnice ale camerelor stereometrice

Denumirea	Producătorul	Distanța focală [mm]	Unghi de cîmp pe orizontală și verticală [grade]	Mărimea bazei [cm]	Înălțimea de instalare [m]	Formatul fotogramelor [cm × cm]	Intervalul de fotografiere [m]	Axa de fotografiere	Suportul emulsiei		Particularități
									plăci	film	
SMK5,5/0808/40	Karl Zeiss R.D.G.	56		40	1,5–	9 × 12	1,5–10	0, v, î, în trepte din 15° în 15°	da	—	— Baza poate fi orizontală și verticală, se poate introduce la fiecare camera o convergență de 0g la 12g. — Baza poate fi așezată și vertical.
SMK 5,5/0808/120				120	2,7		5–30				
Stereocamera UMK 10/1318		100		35–160	0,6–2,1	13 × 18	1–10	0, î (0° la 50g)	da	da	
Stereocamera Wild C-4	Wild Elveția	6,4	71g	40	1,5–2,5	6,5 × 9	1–10	0, v, î (± 10°, 30°, 60°, 80°, 90°	da	—	— Baza poate fi așezată și vertical.
Wild C-40			35,6g	120							
Wild C-120							5–30	0, v, î(–25g; –15g; 0; +15g)			
Stereocamera SMK-40	Zeiss Oberkochen R.F.G.	60		40	1,3–2,5	9 × 12	2,5–10	0, v, î	da	—	— Cu lentile suplimentare se poate prelua și în intervalul 0,5–2,5 m
Stereocamera SMK-120				120			5–50				
Verosta	Galileo Italia	100 150		120–55	1,3–2,6	9 × 12	2–∞	0, î (0°–28g)	da	—	— Se poate introduce o convergență de pînă la 15g
Veroplast				200–300		13 × 18	1,6–∞	0, v, î	da	—	
Tecnoster A		75		16,5–70		6,5 × 9,5	0,6–∞	0, î(±20g)			
Tecnoster B		150		100–200 30–70	0,5–2,6	23,5 × 23,5	1,6–2,6	0, î (±5,5 la 50g)			
DMK 100/1318	Ascania Elveția	100		30–85	1–1,5	13 × 18	1–∞	0, î, v	da	—	— Punctul principal poate fi deplasat
Stereo ST 40	Asahi			40		6,5 × 9	2,5–10	v	da	—	
Stereo ST 120	Asahi	65				6,5 × 9	5–10	0, v, î(3,33g și 6,66g)	da	—	
ST-120	Nikon	60		120 45	1,5–2,5	6,5 × 9	< 9				
SKB 40				25; 35		9 × 12	< 5	0			
SKB 120								0, î(±30g)			
B-54	Sokkisha Japonia			50	1,3–1,8	12 × 16,5	1–∞	0, î (±15g)			
V-3		121		30; 50			0,5–∞				
KSK-100		90		100			1–∞				

analogică, prin izolinii sau curbe de nivel. Se deosebesc mai multe metode de exploatare a fotogramelor în vederea reconstituirii formei obiectelor reale (tabelul XV.9), folosirea uneia sau alteia din metode fiind în funcţie de poziţia obiectului în spaţiu, de depărtarea lui şi de elementele necesare în determinare. În general, în fotogrammetria terestră axele de fotografiere se consideră orizontale, perpendiculare pe planul imaginii şi numai în cazuri speciale sînt înclinate cu un unghi ω cunoscut faţă de orizontală. Această condiţie simplifică mult operaţiile de reconstituire spaţială. Redarea formei şi poziţiei obiectelor în spaţiul real impune cunoaşterea elementelor de orientare a fotogramelor (v. 5.2.4.) elemente care în cazul fotogrammetriei terestre pot fi determinate prin metode geodezo-topografice.

5.5.1. FOTOGRAMMETRIA CU O IMAGINE

Fotogrammetria cu o imagine se caracterizează prin aceea că prin exploatarea fotogramei se obţine numai poziţia în plan XZ a obiectului real. Metoda este avantajoasă pentru determinarea obiectelor dispuse mai mult în plan vertical cu suprafeţe netede. În topografie se foloseşte pentru realizarea relevee lor, pentru urmărirea comportării construcţiilor industriale şi civile, iar în activitatea subterană pentru determinarea secţiunilor transversale a lucrărilor miniere sau a urmăririi deformării lucrărilor miniere sub influenţa presiunilor.

Preluarea imaginilor singulare se realizează cu fototeodolite din puncte de staţie stabile, a căror poziţie în spaţiu este cunoscută. Fotografierea se face de la distanţa convenabilă, care să asigure înregistrarea pe fotogramă a întreagii suprafaţe a obiectului fotografiat (clădiri, secţiuni ale lucrărilor miniere etc.). Distanţa de fotografiere se stabileşte cu relaţiile (fig. XV.97) :

$$Y = \frac{X}{x'} f \; ; \qquad Y = \frac{Z}{z'} f \tag{5.16}$$

în care : X, Z sînt dimensiunile obiectului fotografiat ; x', z' — dimensiunile utile ale fotogramei ; f — distanţa focală a obiectului.

Atît în vederea reprezentării la scară, cît şi pentru determinarea poziţiei obiectelor este necesară existenţa unui număr de repere pe obiect, care să se înregistreze şi pe fotogramă.

Punctele de reper pot fi materializate prin două mire perpendiculare între ele, una dispusă în plan orizontal şi cealaltă în plan vertical, încît să se poată controla scara reprezentării pe cele două direcţii. Fotografierea se poate efectua cu axa de fotografiere orizontală şi perpendiculară pe planul obiectului sau cu axa de fotografiere deviată faţă de normală (fig. XV.98).

Dispunerea axei de fotografiere perpendiculară pe obiect se realizează cu ajutorul echerelor, care asigură o precizie de $\pm 5''$ pentru distanţa de 15—20 m. Prelucrarea foto-

gramelor se poate realiza pe cale numerică sau grafic, cu ajutorul unui aparat de proiecţie. Oricare ar fi metoda de prelucrare, trebuie stabilită scara de reprezentare. În cazul fotogramelor preluate cu axa de fotografiere orizontală şi perpendiculară pe obiect, scara este dată de :

$$m_l = \frac{Y}{f} = \frac{S_h}{s'_h} = \frac{S_v}{s'_v} \tag{5.17}$$

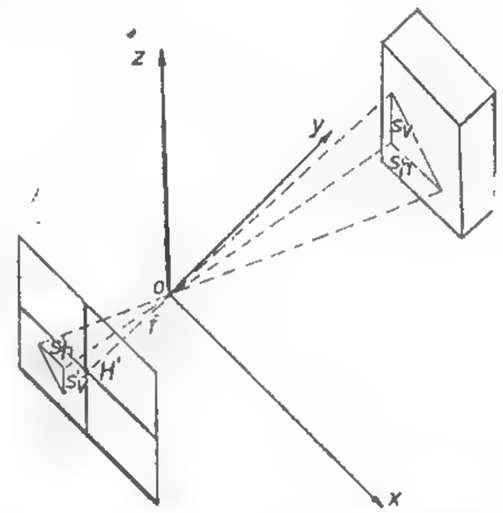


Fig. XV.97. Fotografierea imaginilor cu axa perpendiculară pe planul obiectului.

unde : Y este distanţa între punctul de staţie şi planul fotografiat ; f — distanţa focală a aparatului de fotografiat ; S_h, S_v sînt mirele reper dispuse în plan orizontal şi vertical : s'_h, s'_v — imaginile mirelor semnal.

Numeric, fotogramele se prelucrează cu ajutorul relaţiilor :

$$X_i = m_l \cdot x' ; \quad Z_i = m_l \cdot z' \tag{5.18}$$

în care : X_i Z_i sînt coordonatele spaţiale ale punctelor obiect ; x', z' — coordonatele fotogrammetrice ;
şi se măsoară pe fotogramă cu ajutorul unui comparator.

În cazul în care fotografierea s-a efectuat cu axa deviată cu unghiul φ faţă de normală, coordonatele X_i, Z_i ale punctelor reale se calculează cu relaţiile (fig. XV.98) :
— pentru X :

$$\frac{x'}{f} = \frac{(x)}{Y + \Delta Y} = \frac{X \cos \varphi}{Y + X \sin \varphi} \tag{5.19}$$

de unde :

$$X = \frac{Y \cdot x'}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \tag{5.20}$$

sau :

$$m_{lx} = \frac{Y}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \tag{5.21}$$

— determinarea scării pentru Z:

Pentru dreptele ce trec prin punctul H, scara va fi dată de raportul:

$$m_{lz} = \frac{Y}{f}\cos^2\varphi \quad \text{(fig. XV.99)} \tag{5.22}$$

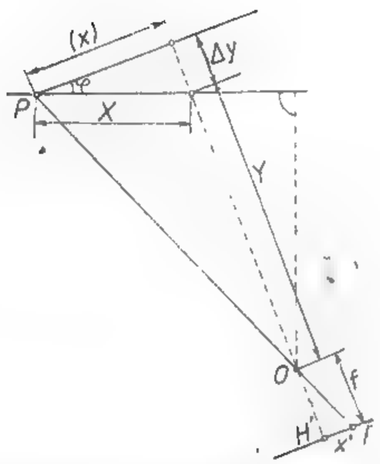


Fig. XV.98. Fotografierea imaginilor cu axa de fotografiere deviată cu unghiul φ.

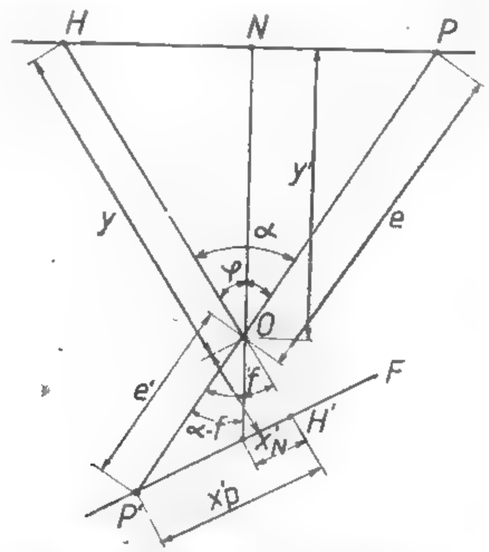


Fig. XV.99. Determinarea scării imaginii pe direcția Z.

Pentru dreptele verticale ce trec printr-un punct oarecare P, scara pentru Z va fi dată de relația (fig. XV.99):

$$m_{lz_P} = \frac{e}{e'} \tag{5.23}$$

unde:

$$e = \frac{Y\cos\varphi}{\cos(\alpha-\varphi)}; \qquad e' = \frac{f}{\cos\alpha} \tag{5.24}$$

atunci:

$$m_{bz_P} = \frac{Y\cos\varphi\cdot\cos\alpha}{f\cos(\alpha-\varphi)} = \frac{Y}{f}(1+\operatorname{ctg}\alpha.\operatorname{ctg}\varphi) \tag{5.25}$$

dar

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{f}{x'_{P'}}$$

$$m_{bz_P} = \frac{Y}{f}\left(1+\frac{f\cos\varphi}{x'_{P'}\sin\varphi}\right) \tag{5.26}$$

$$Z_P = m_{bz_P}\cdot x'_{P'} \tag{5.27}$$

5.5.2. FOTOGRAMMETRIA CU DOUĂ IMAGINI

Practic fotogrammetria cu două imagini se manifestă sub două forme: 1) *fotogrammetria prin intersecție* și 2) *stereofotogrammetria*.

Fotogrammetria prin intersecție se folosește atunci cînd depărtarea obiectului față de bază este foarte mică, respectiv raportul $\frac{Y}{b} \approx 1$. Este avantajoasă în cazul obiectelor abrupte cu suprafețe denivelate, cînd punctele omoloage pe cele două imagini sînt ușor identificabile și definite. Metoda are avantajul că se obține o precizie de determinare echivalentă pe cele trei axe $m_x \simeq m_y \simeq m_z$. Prin faptul că punctele omoloage trebuie să fie foarte bine definite pe fotograme, precum și exploatarea se poate face numai analitic, numai punct cu punct, metoda este încă puțin aplicată.

Coordonatele fotogrammetrice se pot obține fie cu ajutorul unui stereocomparator, fie individual.

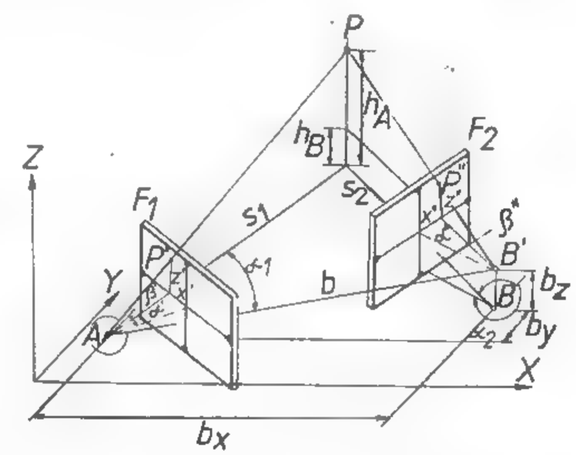


Fig. XV.100. Fotogrammetria prin intersecție.

Fie punctele A și B de capăt ale bazei a cărei lungime și orientare o cunoaștem. Se efectuează două fotograme cu axele de fotografiere orizontale perpendiculare pe planul fotogramei și convergente cu unghiurile σ_1 și σ_2. Poziția punctelor izolate se determină prin intersecție înainte, cu ajutorul unghiurilor orizontale α_1 și α_2 (fig. XV.100):

$$\alpha_1 = \sigma_1 + \alpha'; \quad \alpha_2 = \sigma_2 + \alpha'' \tag{5.28}$$

Unghiurile α', α'', β', β'' se determină din coordonatele fotogrammetrice cu relațiile :

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f} \; ; \qquad \operatorname{tg} \beta' = \frac{z' \cos \alpha'}{f} \tag{5.29}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{x''}{f} \; ; \qquad \operatorname{tg} \beta'' = \frac{z'' \cos \alpha''}{f}$$

Față de sistemul de referință spațial cu originea în punctul A și cu axa X pe direcția bazei, rezultă :

$$X_P = s_1 \cos \alpha_1 = b - s_2 \cos \alpha_2$$

dar :

$$Y_P = s_1 \sin \alpha_1 = s_2 \sin \alpha_2 \tag{5.30}$$

$$s_1 = \frac{b \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \; ; \qquad s_2 = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{5.31}$$

deci :

$$X_P = \frac{b \sin \alpha_2 \cos \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \; ; \qquad Y_P = \frac{b \sin \alpha_2 \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{5.32}$$

sau :

$$X_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \; ; \qquad Y_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \tag{5.33}$$

Pentru calculul cotei Z_P se vor folosi relațiile :

$$h_A = s_1 \operatorname{tg} \beta' ; \quad h_B = s_2 \operatorname{tg} \beta''$$

sau

$$h_A = \frac{b \sin \alpha_2 \operatorname{tg} \beta'}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \; ; \qquad h_B = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \operatorname{tg} \beta'' \tag{5.34}$$

În cazul punctelor bine definite, relațiile de calcul pot fi programate pentru calcul automatizat. Pentru obținerea unor valori corecte trebuie să existe pe obiectul real puncte-reper cu ajutorul cărora se vor determina unghiurile de convergență σ_1 și σ_2.

Pentru o precizie ridicată este indicată orizontalizarea perfectă a axei de fotografiere și-o bună centrare a aparatului în punctele de stație.

Convergența extremă. În cazul obiectelor foarte apropiate de bază, cînd $\frac{Y}{b} < 1$, pentru determinare se folosește *convergența extremă*. Practic în acest caz unghiurile de convergență $\sigma_1 = \sigma_2 = 200^g$. În fig. XV.101 se observă :

$$\frac{Y}{X} = \frac{x'}{f} \; ; \qquad \frac{Y}{b - X} = \frac{x''}{f} \tag{5.35}$$

sau

$$\frac{x' X}{f} = \frac{x'' (b - X)}{f} \tag{5.36}$$

$$X (x' + x'') = x'' b$$

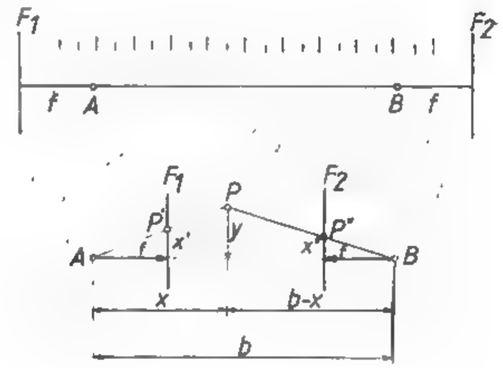


Fig. XV.101. Convergența extremă.

de unde

$$X = \frac{x'' b}{x' + x''} \tag{5.37}$$

Înlocuind în relația (5.35) se obține relația lui Y

$$Y = \frac{x'}{f} \cdot \frac{x'' b}{x' + x''} \quad \text{și} \quad Z = \frac{z'}{f} \cdot \frac{b x'}{x' + x''} \tag{5.38}$$

Stereofotogrammetria terestră. Metoda stereofotogrammetriei se folosește atunci cînd obiectul real se află la o distanță mare de baza de fotografiere, iar numărul punctelor de determinat este foarte mare. Pentru ca fotogramele să redea modelul spațial, trebuie să îndeplinească condițiile vederii stereoscopice, respectiv axele de fotografiere să fie riguros paralele între ele, iar între imagini să existe paralaxă stereoscopică ($p = x' - x''$). În general, axele de fotografiere sînt orizontale, ele pot fi însă și înclinate sub un unghi oarecare ω. După modul cum sînt orientate axele de fotografiere față de bază, deosebim în stereofotogrammetria terestră (fig. XV.102) : cazul normal și cazul paralel deviat.

Cazul normal. Este cazul cel mai frecvent în practică. Axele de fotografiere sînt orizontale paralele și perpendiculare la bază. Coordonatele punctelor obiectului real se determină cu relațiile din (fig. XV.103) :

$$Y_P = \frac{b f}{p} \tag{5.39}$$

$$X_P = \frac{b x'}{p} = \frac{Y}{f} x' \tag{5.40}$$

$$Z_P = \frac{bz'}{p} = \frac{Y}{f} z' \tag{5.41}$$

unde : $\frac{1}{m} = \frac{f}{Y}$ este scara modelului (5.42)

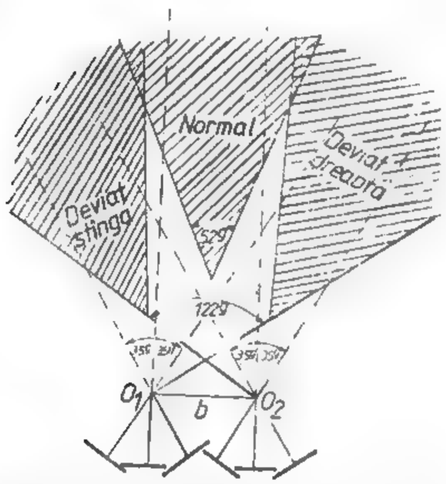


Fig. XV.102. Cîmpul de vedere al fototeodolitului pentru cazul normal şi paralel deviat.

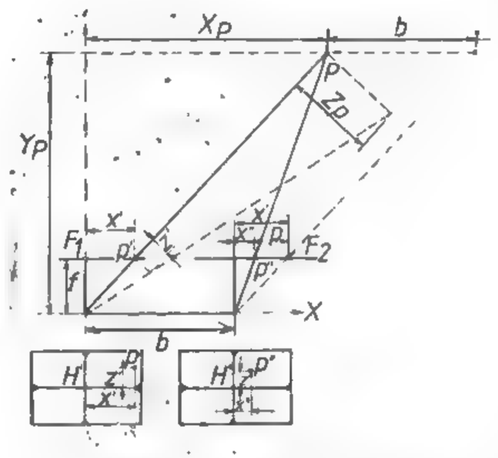


Fig. XV.103. Cazul normal al stereofotogrammetriei terestre.

Cazul paralel deviat. Acest caz se foloseşte în stereofotogrammetria terestră pentru creşterea cîmpului de fotografiere. Axele de fotografiere sînt paralele, orizontale, paralele între ele, dar deviate în acelaşi sens faţă de normala la bază cu un unghi φ (fig. XV. 104). Mărimea unghiului de deviere este în funcţie de unghiul de cîmp al obiectivului fotogrammetric. Este de remarcat că la creşterea unghiului de deviere ($\varphi = 50° - 60°$) scade raportul $\frac{b'}{Y}$, ceea ce influenţează negativ restituţia şi precizia de determinare.

Pentru fototeodolitul Photeo 19/1318, $\varphi = 35^g$, cu această valoare a devierii, fotogramele se suprapun peste cele normale şi măresc unghiul de vedere al camerei la 125^g pentru un punct de staţie. În cazul fotografierii cu obiective grandangular se poate renunţa la fotografierea paralel deviată.

Relaţiile de calcul a coordonatelor punctelor din spaţiul real vor fi, conform figurii XV. 104 :

$$Y = \frac{f}{p}\left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi\right)$$

$$X = \frac{Y}{f} x' = \frac{x'}{f}\left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \cos \varphi\right) \tag{5.43}$$

$$Z = \frac{Y}{f} z' = \frac{z'}{f}\left(b \cos \varphi \pm \frac{x'}{f} b \sin \varphi\right)$$

$$b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi = b' \tag{5.44}$$

poartă denumirea de *bază de lucru* sau *efectivă*.

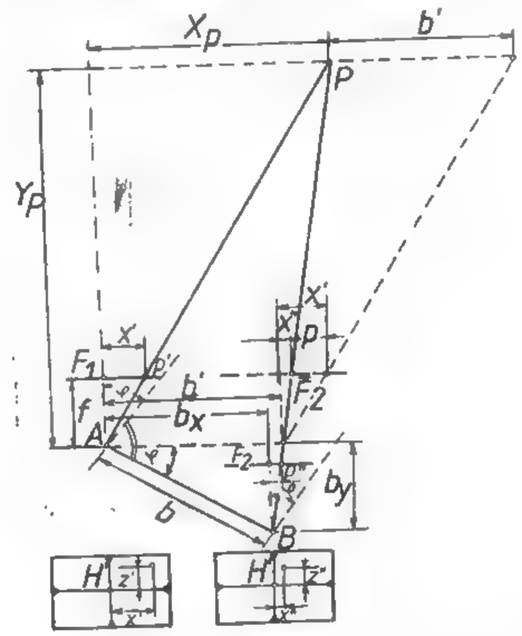


Fig. XV. 104. Cazul deviat al stereofotogrammetriei terestre.

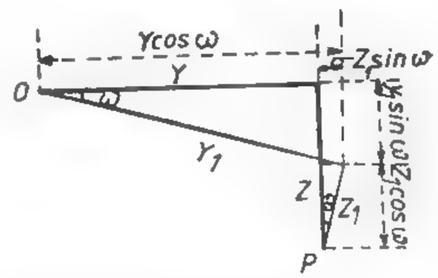


Fig. XV.105. Cazul inclinat al fotogrammetriei terestre.

Semnul + sau — se ia în funcţie de felul devierii şi anume : + pentru devierea dreaptă şi — pentru stînga. Fotografiile deviate se efectuează legat de cele normale la bază.

Cazul înclinat. Considerăm caz înclinat în fotogrammetria terestră atunci cînd axa de fotografiere nu este orizontală, ci face un unghi $\omega \neq 0$. Coordonatele punctelor obiectului real se vor calcula conform fig. XV. 105, cu relaţiile :

$$X = \frac{b}{p} x' ; \quad Y = \frac{b}{p} f\left(\cos \omega \pm \frac{z'}{f} \sin \omega\right) \tag{5.45}$$

$$Z = \frac{b}{p} z'\left(\cos \omega \pm \frac{f}{z'} \sin \omega\right)$$

Aceste transformări ale coordonatelor măsurate pe fotogramele înclinate în coordonate în spaţiale ale punctelor faţă de sistemul tridimensional normal se realizează practic prin redresare cu ajutorul unui dispozitiv anex aparatului de restituţie, denumit *calculator*

de înclinare, care este interpus între restituitor şi masa de desen. Cazul înclinat în fotogrammetria terestră apare tot mai mult datorită aparaturii de preluare construită pentru posibilităţi mai largi de folosire.

5.5.3. FOTOGRAMMETRIA PARALACTICĂ CU BAZĂ TIMP

Este o metodă relativ nouă a fotogrammetriei terestre şi se bazează pe măsurarea paralaxei pe fotograme singulare înregistrate consecutiv în timp şi orientate identic. Cu ajutorul acestei metode se poate determina modificarea poziţiei punctelor obiectului în timp. Este avantajoasă pentru determinarea deformaţiilor construcţiilor sau a obiectelor industriale şi miniere în timp.

Pentru aceasta se vor efectua două fotografieri asupra aceluiaşi obiect cu aceleaşi elemente de orientare într-un interval de timp dat (baza de timp). Diferenţa de imagine a celor două fotograme executate la timpul t_1 şi t_2 va constitui paralaxa stereoscopică, care va determina schimbarea poziţiei spaţiale a punctului P_{t_1} şi P_{t_2} (fig. XV. 106).

Componentele schimbării poziţiei punctelor obiectului paralel cu planul imagine vor fi date de relaţiile:

$$\Delta X = m_1 \cdot p'_x \; ; \; \Delta Z = m_1 \cdot p'_z \tag{5.46}$$

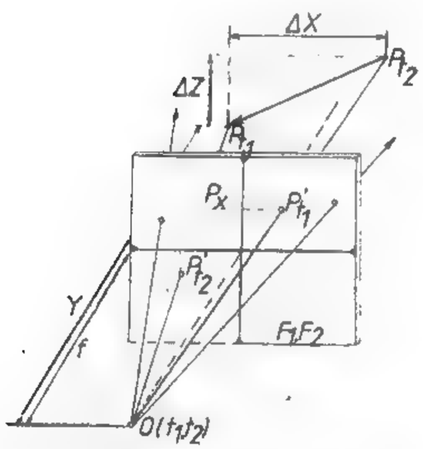


Fig. XV.106. Fotogrammetria cu bază de timp.

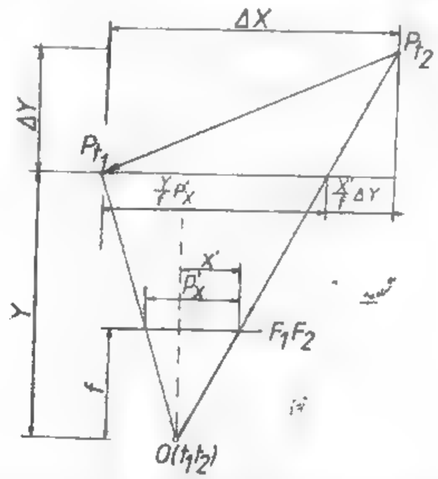


Fig. XV.107. Fotogrammetria cu bază de timp cu modificarea distanţei la obiect.

în care: $m_1 = \frac{Y}{f}$ este numitorul scării imaginii; p'_x şi p'_z sînt paralaxele stereoscopice pentru coordonatele fotogrammetrice x' şi z'.

Mărimea acestor paralaxe se vor măsura cu ajutorul unui stereocomparator. Dacă punctele obiect îşi schimbă poziţia şi pe direcţia Y, atunci componentele deplasării punctelor obiect se vor calcula cu relaţiile (fig. XV. 107):

$$\Delta X = m_b\, p'_x + \frac{x'}{f}\Delta Y; \quad \Delta Z = m_b\, p'_z + \frac{z'}{f}\Delta Y \tag{5.47}$$

5.6. APARATE DE RESTITUŢIE FOLOSITE ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

Cu ajutorul aparatelor de restituţie se reprezintă obiectele fotografiate pe baza măsurătorilor efectuate pe fotograme. După modul de reprezentare a obiectului măsurat se împart în: *aparate de restituţie analogice, aparate de restituţie numerică, aparate de proiecţie fotografică.*

5.6.1. APARATE DE RESTITUŢIE ANALOGICĂ

Au la bază principiul analogiei geometrice. Reconstituirea se realizează pe cale mecanică, obiectul măsurat se redă grafic la scară. Pentru restituţia stereofotogramelor terestre pot fi folosite aparate de stereorestituţie analogică sau aparate construite special pentru stereorestituţia terestră. Această din urmă grupă de aparate este mult simplificată faţă de prima. În tabelul XV. 12 sînt prezentate cîteva tipuri de aparate construite numai pentru stereorestituţia terestră.

Tabelul XV.12

Caracteristici tehnice ale principalelor aparate de stereorestituţie terestră

Tipul aparaturii	Firma constructoare	Formatul imaginii [cm]	Distanţa focală [mm]	Convergenţa [grade]	bx. min.	Masa de desen
Tecnocartul	Zeiss-Jena	4 × 4 — 23 × 23	50—215	—2—6	0—240	600 × 800
Stereoautograful 1318	Zeiss-Jena	13 × 18	157—198	—2—5	0—60	800 × 800
Terragraph	Zeiss-Oberkochen	9 × 12	52—67	—	0—50	120 × 120
Autograf A40	Wild — Elveţia	9 × 12	54—100	—	—	

Tehnocartul. Este cel mai recent aparat de stereorestricţie terestră construit de firma VEB Carl Zeiss Jena R.D.G. (fig. XV. 108). Tehnocartul permite restituţia fotogramelor de toate formatele pînă la 23 × 23 cm, sub formă de negative sau pozitive pe suport de sticlă sau hîrtie şi cu distanţe focale cuprinse între 50 şi 215 m.

Restituie, de asemenea, stereograme normale, paralele deviate şi înclinate. În acest ultim caz foloseşte un calculator de înclinare. Restituţia grafică se efectuează pe o masă

de desen. Raportul de transmisie al aparatului la masa de desen poate fi schimbat în 21 scări între 0,16 şi 6,25 ori. Cartografierea se realizează în trei plane de proiecţie XY, XZ, YZ.

Tehnocartul este construit pe principiul paralelogramului Zeiss, cu rezolvare mecanică analogă pentru fiecare cameră de proiecţie a imaginii. Stereorestituitorul are posibilitatea restituirii numerice, pentru care este prevăzut cu nişte contoare numerice divi-

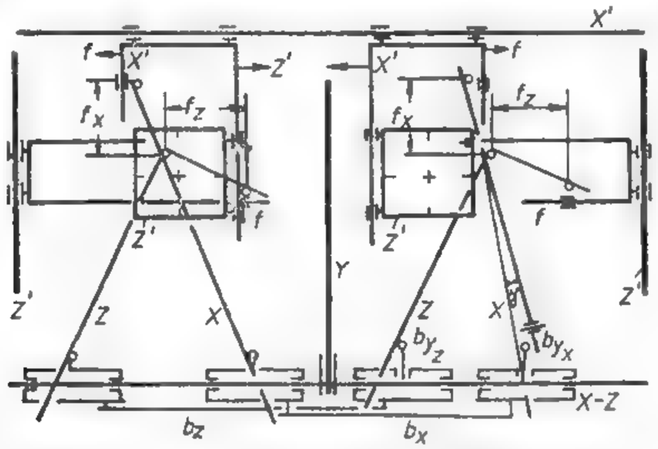


Fig. XV.108. Schema de principiu a tehnocartului.

zate. Restituţia numerică serveşte pentru determinarea punctelor individuale. Coordonatele acestor puncte pot fi înregistrate de un coordimetru şi afişate pe benzi cu ajutorul unei maşini de scris.

Restituţia la tehnocart. Pentru a restitui un cuplu stereoscopic cu ajutorul unui aparat de stereorestituţie, trebuie ca acesta să fie orientat în apratul respectiv. Orientarea stereogramelor, aşa cum s-a arătat în 5.2.4., cuprinde orientarea interioară şi exterioară care, la rîndul ei, este relativă şi absolută.

Orientarea interioară se realizează prin introducerea distanţei focale a obiectivului aparatului de prelucrare la cele patru contoare c_k ale restituitorului, cu o precizie de 0,02 mm, iar punctul principal al fotogramelor prin suprapunerea reperelor fotogrammetrice ale fotogramelor pe axele portclişeelor aparatului de restituţie.

După efectuarea orientării interioare, pentru a obţine modelul stereoscopic la o scară dorită, se realizează orientarea exterioară relativă, care constă în introducerea componentei bazei de fotografiere în aparat. Scara modelului se alege în funcţie de depărtarea y_{max} şi y_{min} de fotografiere şi posibilitatea de deplasare a axei pe direcţia Y' a aparatului şi de scara de restituţie, astfel ca să poată fi restituite cît mai multe puncte.

$$m_m = \frac{y_{max}}{y'_{max}}; \qquad m_m = \frac{y_{min}}{y'_{min}} \tag{5.48}$$

Astfel pentru $y_{max} = 700$ m şi $y_{min} = 140$ m

$$m_m = \frac{700}{0,35} = 2000 \quad \text{respectiv} \quad m_m = \frac{140}{0,035} = 4000$$

Deci scara modelului poate fi aleasă între 1:2000 şi 1:4000. Componentele bazei se calculează cu relaţiile:

— pentru cazul normal:

$$b_x = \frac{b}{m_m}; \qquad b_z = \frac{h}{m_m} \tag{5.49 a}$$

— pentru cazul paralel deviat:

$$b_x = \frac{b \cos \varphi}{m_m}; \qquad b_y = \frac{b \sin \varphi}{m_m}; \qquad b_z = \frac{h}{m_m} \tag{5.49 b}$$

în care: b este baza de fotografiere; h — diferenţa de cote dintre capetele bazei; φ — unghiul de deviere.

Orientarea exterioară absolută se realizează cu ajutorul reperelor fotogrammetrice a căror coordonate geodezice sînt cunoscute. Aceste puncte de reper se raportează pe planşa de pe masa de desen la scara de restituţie. După ce au fost stabilite şi introduse la stereorestituitor şi la masa de desen, roţile dinţate pentru transformarea scării modelului la scara de restituţie se punctează pe modelul stereoscopic cu *marca reper* unul din repere, iar trasorul de la masa de desen se va conduce pe punctul corespunzător pe planşă. Se punctează apoi un alt punct al modelului, iar planşa se va roti în jurul primului punct pînă cînd punctul corespunzător de pe planşă va veni sub dispozitivul trasor. Pentru control se va proceda în acelaşi mod şi pentru alte repere.

Pentru introducerea originii pentru cote se punctează un reper fotogrammetric şi menţinînd marca pe punct (la nivelul terenului) se introduce la contoarul de cote valoarea cotei geodezice a punctului respectiv. Se punctează apoi alt reper de cotă cunoscută şi se compară cu cele geodezice, diferenţele între cote nu trebuie să depăşească ± 10 cm.

Pe planşele astfel orientate se vor trasa elementele de planimetrie sau relieful terenului. Obţinerea restituţiei în planul de proiecţie dorit depinde de modul de conectare a masei de desen la direcţiile de deplasare a stereorestituitorului.

5.6.2. APARATE DE RESTITUŢIE NUMERICĂ

Sînt aparatele care redau obiectul sub forma unor puncte de coordonate spaţiale cunoscute. Pentru determinarea coordonatelor spaţiale se efectuează măsurători pe imaginile fotografice cu ajutorul mono sau stereocomparatoarelor. Printr-o prelucrare pur numerică, cu ajutorul relaţiilor stabilite în § 5.5.2.2. se obţin coordonatele spaţiale ale modelului sub forma unui inventar de coordonate. Coordonatele punctelor modelului se transformă în coordonate geodezice cu ajutorul relaţiilr (5.53). Pentru restituţia fotogramelor terestre, firma Zeiss Jena a construit stereocomparatorul Steko 18 × 18. Aparatul permite măsurarea punct cu punct a modelului stereoscopic cu o precizie de 0,01 mm şi cu o precizie de 0,005 mm a paralaxelor.

5.6.3. APARATE DE RESTITUŢIE ANALITICĂ

Pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice, coordonatele modelului stereoscopic şi coordonatele geodezice, coordonatele modelului stereoscopic şi cordonatele geodezice ale punctelor se calculează cu ajutorul calculatoarelor electronice

Din această categorie de aparate fac parte: Analiticul Plotter AP/1, AP-2, AS-11, produse de firma OMI Italia şi Beudix Corporation.

Aceste aparate se folosesc pentru măsurători de precizie la scări mari, eficienţa lor economică fiind condiţionată de posibilitatea automatizării întregului flux de operaţii. Noile aparate automatizate se caracterizează prin faptul că nu se mai apelează la operatorul uman pentru efectuarea identificării punctelor omoloage, ci se efectuează automat cu ajutorul unui *corelator de imagini*.

5.6.4. APARATE CU PROIECŢIE FOTOGRAFICĂ

Fotograma, imagine fotografică metrică, în proiecţie centrală este o reprezentare analogică a obiectului măsurat. Datorită acestui fapt ea poate fi prelucrată prin proiecţie fotografică pentru a fi transformată la scara dorită. Transformarea la scară se poate realiza cu ajutorul aparatelor de mărit cu caracteristici tehnice adecvate negativului. Dacă axa de fotografiere n-a fost perpendiculară pe obiectul fotografiat, transformarea acesteia într-o fotogramă nedeformată se realizează prin fotoredresare cu ajutorul unor aparate special construite acestui scop.

5.7. ERORI ÎN DETERMINAREA COORDONATELOR PUNCTELOR SPAŢIALE

5.7.1 DETERMINAREA ERORILOR

Coordonatele spaţiale ale punctelor din spaţiul obiect depind de elemente măsurate direct, elemente ce sînt influenţate de erori. Cunoaşterea acestor erori este necesară pentru corectarea rezultatelor obţinute, fie prin impunerea unor condiţii de lucru, fie prin alegerea unei aparaturi adecvate care să asigure sau să ridice precizia în determinarea coordonatelor.

Pornind de la relaţiile (5.39)—(5.41) ce exprimă coordonatele unui punct în cazul normal al fotogrammetriei terestre, prin diferenţierea acestora se obţine:

$$d_Y = \frac{Y}{f}\, db + \frac{Y}{f}\, df - \frac{Y^2}{bf}\, d_p \qquad (5.50)$$

$$d_X = \frac{X}{Y}\, dx + \frac{X}{x'}\, dx' - \frac{X}{f}\, df \qquad (5,51)$$

$$d_Z = \frac{Z}{Y}\, dy + \frac{Z}{z'}\, dz' - \frac{Z}{f}\, df \qquad (5.52)$$

Din relaţia (5.50) se observă că influenţa cea mai mare asupra determinării lui Y o are ultimul termen datorită exponentului pătratic. Analizînd acest termen se vede că eroarea de măsurare a paralaxei este afectată de măsurarea celor două coordonate fotogrammetrice x' şi x'' care, la rîndul lor, sînt afectate de elementele de orientare interioară şi exterioară a fotogramelor. În tabelul XV.13 sînt date erorile de măsurare ce influenţează asupra erorii ΔY, precum şi provenienţa acestora.

Se vede, de asemenea, că eroarea lui Y este invers proporţională cu mărimea bazei şi a distanţei focale, deci pentru obţinerea unor erori mici vor fi optime bazele mari şi aparatele de fotografiat cu distanţe focale mari. Din analiza relaţiilor (5.51) şi

Tabelul XV.13

Erori de măsurare ce influenţează asupra erorii ΔY

Natura erorii	Simbol	Mărimea erorii
Eroarea datorită punctului principal H'	$dx'_{H'}$, dx'_{H}	$\frac{Y^2}{bf}(dx'_{H'} - dx'_{H''})$
Eroarea de distanţă focală	df_1, df_2	$\frac{Y}{bf}[X(df_1 - df_2) + b df_2]$
Eroarea de bază	db	$\frac{Y}{b}\, db$
Eroarea de orientare a axelor de forografiere	$d\varphi_1$, $d\varphi_2$	$\frac{Y^2 + X^2}{b}\, d\varphi_1 - \frac{Y^2 + (X-b)^2}{b}\, d\varphi_2$
	$d\omega_1$, $d\omega_2$	$\frac{Z}{b}[X(d\omega_2 - d\omega_1) - b d\omega_2]$
	$d\varkappa_1$, $d\varkappa_2$	$\frac{XY}{b}(d\varkappa_2 - d\varkappa_1)$

(5.52) rezultă că eroarea ΔY intervine şi în determinarea erorilor pentru coordonatele X şi Z.

5.7.2 CORECTAREA ERORILOR

Influenţa erorilor mai sus arătate asupra modelului poate fi stabilită cunoscînd în spaţiul modelului, coordonatele spaţiale ale unor puncte bine definite şi identificabile care să fie înregistrate prin fotografiere pe cuplu stereoscopic. Comparînd aceste coordonate adevărate ale punctelor reper cu coordonatele lor obţinute prin restituţie se oferă un control şi un mijloc de ameliorare a elementelor de orientare exterioară şi interioară. Cu aceste îmbunătăţiri ale elementelor de orientare se vor calcula coordonatele punctelor din spaţiul obiect.

5.7.3. TRANSCALCULAREA COORDONATELOR SPAŢIALE XY ÎN SISTEMUL GEODEZIC $\bar{X}$, $\bar{Y}$

Pentru transcalcularea coordonatelor spaţiale în sistemul topografic $\bar{X}$, $\bar{Y}$ (fig. XV.109) se folosesc următoarele grupuri de relaţii:

Transformarea Helmert transcalculează la scară coordonatele X şi Y. Se foloseşte pentru $n > 2$.

$$X = ax + by + C_1 = a\Delta x + b\Delta y + X_S \qquad (5.53)$$
$$Y = bx + ay + C_2 = b\Delta x + b\Delta y + Y_S$$

unde: n este numărul punctelor de transformare; a, b — coeficienţi de transformare; C_1, C_2 — coeficienţi de deplasare a originii sistemului spaţial XY.

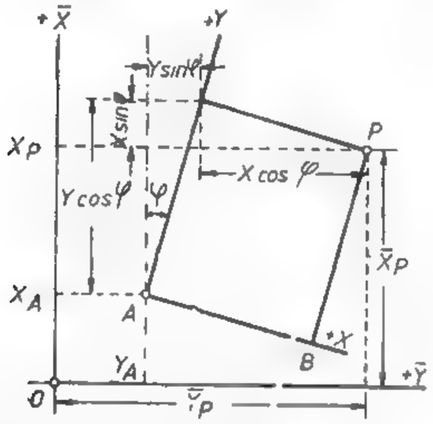


Fig. XV.109. Transcalcularea coordonatelor spaţiale ale modelului stereoscopic în coordonate geodezice.

$$a = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{X}_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A}{N}$$

$$b = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{Y}_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)}{(\Delta X_i \cdot \Delta X_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta Y_i)} = \frac{B}{N} \qquad (5.54)$$

$$C_1 = \bar{X}_S - aX_S + bY_s; \; C_2 = \bar{Y}_S - aY_S - bY_s \qquad (5.55)$$

$$\bar{X}_S = \frac{(\bar{X}_i)}{n}; \qquad \bar{Y}_S = \frac{(\bar{Y}_i)}{n}$$

$$X_S = \frac{(X_i)}{n}; \qquad Y_S = \frac{(Y_i)}{n} \qquad (5.56)$$

$$\Delta X_i = X_i - X_S; \quad \Delta Y_i = Y_i - Y_S$$
$$\Delta \bar{X}_S = \bar{X}_i - \bar{X}_S; \quad \Delta \bar{X}_S = \bar{Y}_i - \bar{Y}_S \qquad (5.57)$$

unde: $\bar{X}_i, \bar{Y}_i$; X_i, Y_i sînt coordonatele punctelor reper în cele două sisteme.

Transformarea afină se foloseşte pentru $n > 3$. Cu această transformare, erorile sistematice pot fi mai bine corectate.

$$\bar{X} = a_1X + b_1Y + C_1 = a_1X + b_1Y + \bar{X}_S$$
$$\bar{Y} = a_2Y + b_2X + C_2 = a_2X + b_2Y + \bar{Y}_S \qquad (5.58)$$

$$a_1 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta Y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta y_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A_1}{N}$$

$$b_1 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)\Delta x_i \cdot \Delta y_i}{N} = \frac{B_1}{N} \qquad (5.59)$$

$$a_2 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)\Delta(x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{A_2}{N}$$

$$b_2 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{B_2}{N}$$

$$C_1 = X_S - a_1X_s + b_1Y_S$$
$$C_2 = Y_S - a_2Y_S - b_2Y_s \qquad (5.60)$$

5.8. LUCRĂRI DE TEREN ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

În vederea stabilirii elementelor de orientare exterioară a fotogramelor este necesară întocmirea unui proiect de fotografiere care constă în următoarele operaţii:

— delimitarea zonei sau a obiectului de fotografiat;

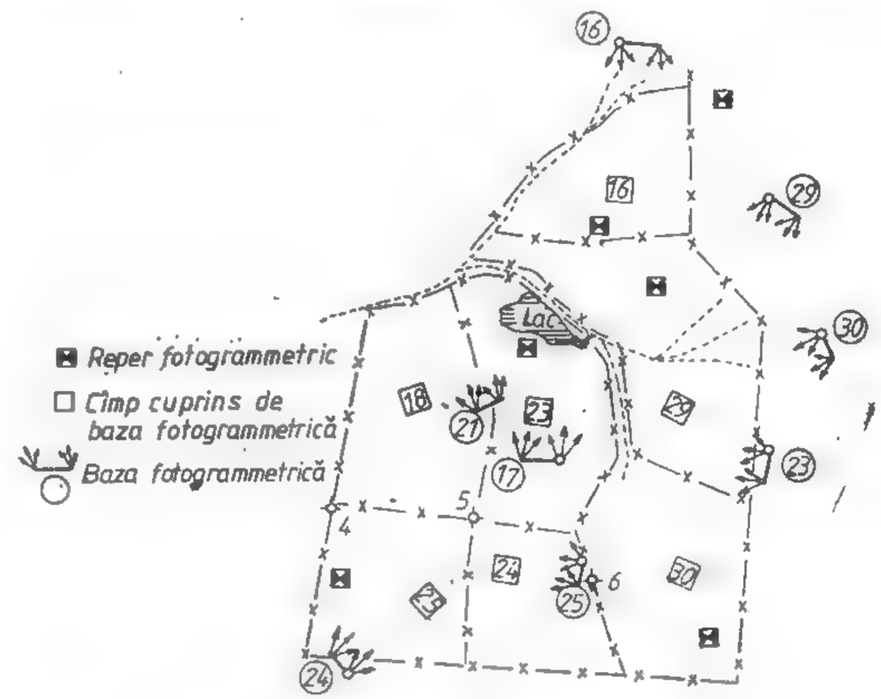


Fig. XV.110. Proiect de fotografiere.

— alegerea aparaturii de fotografiere şi a metodei de lucru;

— stabilirea punctelor de staţie şi a bazelor de fotografiere;

— stabilirea punctelor de reper şi amplasarea lor;

— legarea punctelor de capăt ale staţiei şi ale punctelor de reper din reţeaua geodezică existentă, în vederea orientării exterioare a fotogramelor (fig. XV.110).

După efectuarea acestor operaţii, proiectul se definitivează prin recunoaşterea terenului şi se poate trece la fotografierea propriu-zisă. Zona sau obiectul de fotografiat se delimitează fie pe planuri şi hărţi, dacă acestea există iniţial, sau prin recunoaşterea lor în teren. Scopul acestei operaţii este de a stabili dimensiunea cîmpului de fotografiere (funcţie de care se alege camera de fotografiat), amplasarea bazelor de fotografiere în vederea racordării fotogramelor, amplasarea reperajului şi în final soluţia de fotografiere.

În alegerea metodei de lucru, a aparaturii de preluare şi prelucrare a fotogramelor, în stabilirea şi determinarea bazelor de fotografiere se pleacă de la precizia necesară pentru reprezentarea obiectului.

5.8.1. STABILIREA PUNCTELOR DE STAŢIE ŞI A BAZELOR FOTOGRAMMETRICE

Punctele de staţie din care se efectuează fotografierea, consitituind prin coordonatele lor elemente de orientare exterioară ,vor trebui să fie puncte stabile şi bine determinate. Odată cu stabilirea punctelor de bază trebuie stabilite bazele de fotografiere. Alegerea locului de amplasare a bazei este condiţionată de satisfacerea următoarelor condiţii:

— se va ţine seama ca din bază să se permită fotografierea unor porţiuni cît mai mari şi fără zone ascunse;

— baza de fotografiere să fie amplasată paralel cu direcţia principală a obiectului, pentru a se evita deformaţiile de convergenţă;

— depărtarea bazei de fotografiere faţă de obiect se alege în funcţie de scara de redactare, de materialul fotosensibil utilizat şi de condiţiile de vizibilitate;

— lungimea bazei se alege în raport cu depărtarea maximă şi minimă faţă de obiectul măsurat, încît să se obţină o precizie necesară măsurătorii.

Ţinînd seama de relaţiile:

$$Y = \frac{bf}{p} \quad \text{şi} \quad \frac{dY}{Y} = -\frac{Y}{b} \cdot \frac{dp}{f}$$

şi de faptul că aparatele de restituţie au o eroare de determinare a paralaxei de 0,01 mm, cu un aparat de preluare cu $f = 200$, pentru a obţine o eroare în determinarea lui Y de 1: 1000 va rezulta:

$$\frac{b_{min}}{Y_{max}} = -\frac{Y}{dY} \cdot \frac{dp}{f} = 1000 \cdot \frac{0{,}01}{200} = -\frac{1}{20}$$

sau

$$b_{min} \geqslant \frac{1}{20} Y_{max}$$

Pentru o paralaxă stereoscopică de 40—50 mm ce se realizează prin fotografiere cu fototeodolitul Photeo 19/1318

$$b_{max} = \frac{50}{200} Y = \frac{1}{4} \ldots \frac{1}{5} Y$$

Deci pentru un fototeodolit cu $f = 200$ mm baza de fotografiere trebuie cuprinsă

$$\frac{Y_{max}}{20} \leqslant b \leqslant \frac{Y_{min}}{4} \qquad (5.61)$$

La stabilirea lungimii bazei, în afară de valoarea paralaxei şi a preciziei de determinare, trebuie să se mai ţină seama şi de scara de redactare. Amplasarea bazelor se face în aşa fel încît cîmpul de fotografiere să acopere zona de măsurat, ca să nu rămînă goluri în măsurători. Atunci cînd pentru preluarea unui obiect este nevoie de mai multe baze, este indicat a se amplasa baze legate între ele (fig. XV.111).

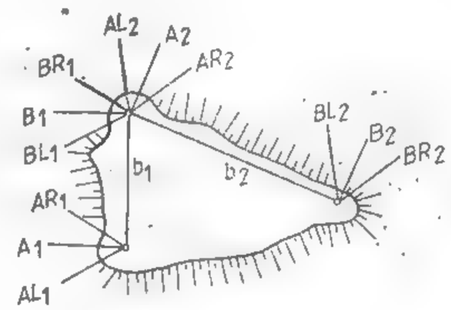


Fig. XV.111. Amplasarea bazelor fotogrammetrice legate.

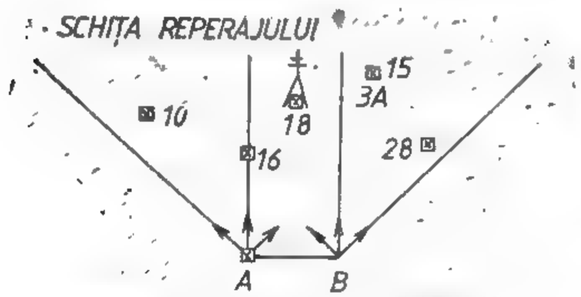
Trebuie avută în vedere, la amplasare, atît condiţia de vizibilitate din punctele de staţie cît re zona de fotografiat, cît şi vizibilitatea reciprocă între punctele de staţie. La stabilirea punctelor de capăt ale bazei trebuie să se ţină seama ca diferenţa de nivel dintre ele să fie $\Delta h \leqslant \frac{1}{5} b$. Lungimea bazei se măsoară direct cu ruleta cînd este mai mică de 50 m, sau cu mira de invar. Măsurarea se efectuează de 3—6 ori, pentru a se asigura o precizie în măsurare de 1/10 000—1/20 000.

În funcţie de dispunerea obiectului de fotografiat, de depărtarea lui faţă de bază, se vor stabili camera de fotografiat (fototeodolitul sau camere stereometrice) şi metode de lucru (stereofotogrammetria sau intersecţia). La alegerea tipului de aparat se va ţine seama de caracteristicile tehnice ale acestora (tabelele XV.10 şi XV.11).

5.8.2. REPERAJUL FOTOGRAMMETRIC

Atît controlul elementelor de orientare exterioară şi a preciziei de determinare cît şi legarea sistemului de coordonate fotogrammetrice cu sistemul de referinţă geodezic se fac prin punctele de reper. Dispunerea punctelor de reper se face conform proiectului şi a posibilităţii de legare a acestor puncte de punctele geodezice existente. Practic pentru fiecare bază de fotografiere sînt necesare 4 puncte de reper dispuse pe întreg cîmpul de fotografiere. Cel puţin un punct trebuie să fie comun atît preluărilor normale cît şi celor deviate stînga şi dreapta. De asemenea, este nevoie ca să existe repere comune bazelor vecine, pentru a se putea realiza racordarea stereogramelor (fig. XV.112).

Reperele fotogrammetrice se materializează, în funcţie de durabilitatea lucrărilor, prin ţăruşi de lemn sau oţel, iar semnalizarea lor se face cu panouri vopsite bicolor (albastru marin şi galben citron). Forma şi dimensiunile panourilor depind de forma şi depărtarea obiectului de staţie (fig. XV.113).



BAZA 12

	AL	A	AR	BL	B	BR
Orizont de fotografiere	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Orientarea axelor de foto	65/265	100/300	135/335	265/65	300/100	335/135
Timp de expunere	20^s	20^s	20^s	20^s	20^s	20^s
Caseta	2	1	3	5	4	6
Înălţime aparat		1,25				

Fig. XV.112. Amplasarea reperelor fotogrammetrice faţă de baza de fotografiere.

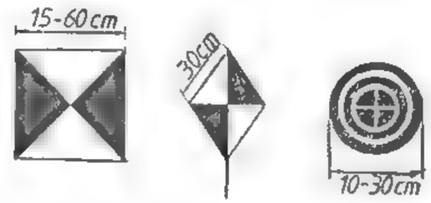


Fig. XV.113. Tipuri de repere fotogrammetrice.

5.8.3. LEGAREA PUNCTELOR DE CAPĂT ALE BAZEI FOTOGRAMMETRICE ŞI A PUNCTELOR DE CONTROL LA REŢEAUA GEODEZICĂ

Determinarea coordonatelor spaţiale ale punctelor de reper se face prin metode geodezo-topografice cunoscute, în funcţie de configuraţia terenului, a numărului şi dispunerii acestor puncte. Printre metodele mai des utilizate sînt intersecţiile în cazul punctelor dispărute şi a poligonaţiilor (drumuirii) în cazul cînd punctele sînt amplasate în apropiere unul faţă de celălalt.

Pentru determinarea cotelor punctelor de staţie şi de reper se foloseşte nivelmentul geometric. La determinarea coordonatelor geodezice ale reperelor şi a punctelor de control trebuie să se ţină seama de precizia cerută, de scopul pentru care se execută lucrările de reperaj. În consecinţă, metoda de determinare trebuie aleasă în funcţie de această precizie.

După ce aceste operaţii au fost efectuate, se trece la executarea fotografierilor. Fotografierea este operaţia de mare răspundere care contribuie la calitatea întregii lucrări de măsurare. Orice greşală sau neglijenţă este o sursă de erori şi conduce la refacerea fotografierii. De aceea, în efectuarea fotografierii trebuie să se ţină seama de următoarele condiţii:

— fotografierea să se efectueze în momentul celei mai bune iluminări a obiectului;

— timpul de expunere să fie corect stabilit, avînd în vedere sensibilitatea emulsiei fotosensibile 1—5 DIN;

— menţinerea pe tot timpul fotografierii a axei de fotografiere riguros orizontală şi perpendiculară pe planul imagine (verificarea miretelor);

— menţinerea orientării axelor de fotografiere.

În cazul executării din două puncte de staţie ale bazei de fotografiere, se va ţine seama ca fotografierea să se facă în aceleaşi condiţii de iluminare. Datele necesare exploatării fotogramelor se vor trece într-un tabel de date (fig. XV.112).

5.9. REZOLVAREA UNOR PROBLEME TOPOGRAFICE PRIN METODE FOTOGRAMMETRICE

5.9.1. MĂSURAREA VOLUMELOR EXCAVATE ÎN CARIERE

Utilizarea metodelor fotogrammetrice în determinarea volumelor excavate în cariere este motivată de avantajele pe care le oferă această metodă comparativ cu cele clasice:

— fidelitatea planului de situaţie al carierei şi al profilelor excavate;

— randamentul ridicat al măsurătorilor.

Distingem următoarele procedee de determinare a volumelor excavate:

— procedeul reţelelor orizontale;

— procedeul reţelelor verticale;

— procedeul secţiunilor orizontale;

— procedeul secţiunilor verticale.

Alegerea procedeului este în funcţie de zona de amplasare a carierei, de înălţimea treptei, de situaţia reliefului din jur. Oricare ar fi procedeul ales pentru culegerea informaţiilor, este necesar a se stabili o staţie de măsurare. Staţia de măsurare constă în stabilirea pe teren a bazelor de fotografiere, a punctelor de control fixe şi mobile necesare orientării absolute. Se recomandă stabilirea unui număr minim de baze. Poziţia lor să fie stabilă şi fixă pe tot timpul măsurătorilor. Pentru ca restituţia să se efectueze simplu, se indică ca bazele să fie paralele cu frontul de lucru.

Atît punctele de capăt ale bazelor cît şi punctele de reper se determină prin metode topografice în sistemul de referinţă al carierei sau într-un sistem de referinţă ales. Pentru determinarea periodică a volumelor se efectuează înregistrarea fotografică asupra zonelor excavate, cu ajutorul fototeodolitelor, în diferite perioade. Reperele fixe se semnalizează la fiecare înregistrare, preluarea efectuîndu-se din aceleaşi puncte de staţie.

Ca metode de prelucrare a înregistrărilor se foloseşte stereorestituţia analogică sau numerică. Pe baza stereofotogramelor, cu ajutorul aparatului de restituţie se obţine planul de situaţie al carierei la scara convenabilă, care conţine treptele carierei, cotele de nivel ale fiecărei trepte, drumurile de acces.

Procedeul reţelelor orizontale constă în elaborarea modelului numeric al terenului şi al zonei excavate (fig. XV.114).

Volumul excavat se calculează cu relaţia:

$$V = S \sum_{n=1}^{n} h_i \qquad (5.62)$$

în care: S este suprafaţa totală a zonei excavate; h_i — cota medie a punctelor reţelei.

Această suprafaţă se determină prin metode topografice cunoscute pe planul de situaţie al terenului.

Volumul excavat într-un interval de timp este dat de diferenţa de volum dintre două determinări succesive:

$$\Delta V = V_{t_1} - V_{t_2}$$

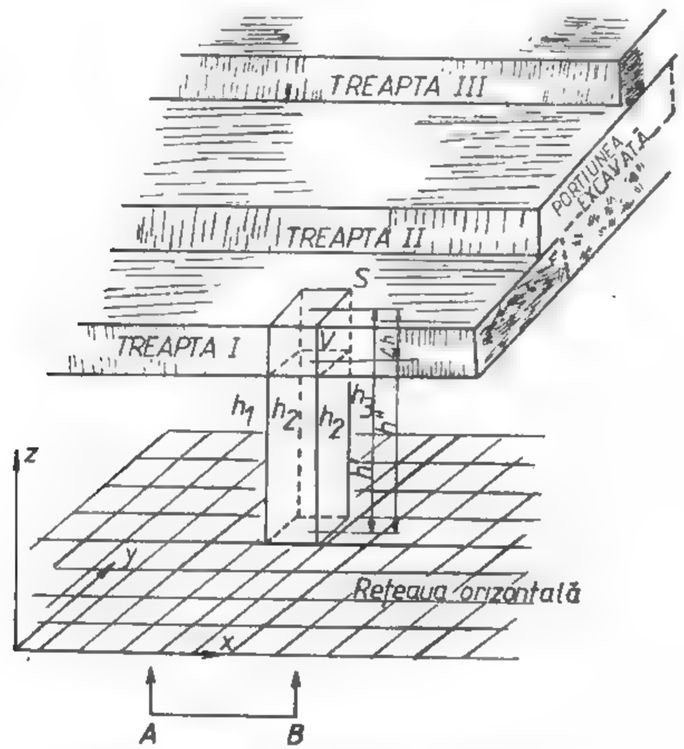


Fig. XV.114. Principiul reţelei orizontale.

Cu planul de situaţie orientat pe masa coordonatografului prin punctele de reper şi cu masa de desen cuplată la aparatul de restituţie pentru proiecţia xy, se pun ctează nodurile, iar pe modelul stereoscopic se citeşte la tambur cota z a punctelor resp ective.

Procedeul reţelelor verticale. Este asemănător procedeului anterior. R eţeaua verticală se obţine prin împărţirea planului vertical XZ în reţea de pătrate. Acest plan trebuie să fie paralel cu baza de fotografiere. Elementul variabil este depărta rea Y, care se va citi la aparatul de restituţie (fig. XV.115).

$$V = S \sum_{n=1}^{n} y_i \qquad (5.63)$$

Volumul excavat într-un interval de timp va fi dat de diferenţ a volumelor obţinute la două momente de măsurare. Cele două procedee au o serie de dezavantaje în organizarea lucrărilor şi nu au o maximă operativitate în lucru.

Procedeul secţiunilor orizontale. Constă în secţionarea corpului cu plane de secţionare orizontale echidistante (fig. XV.116).

Între aceste două secţiuni se formează cîte un corp fictiv elementar. Urmele acestui corp inclus pe secţiunile plane care îl delimitează sînt poligoane închise a căror arie se poate calcula analitic sau grafic.

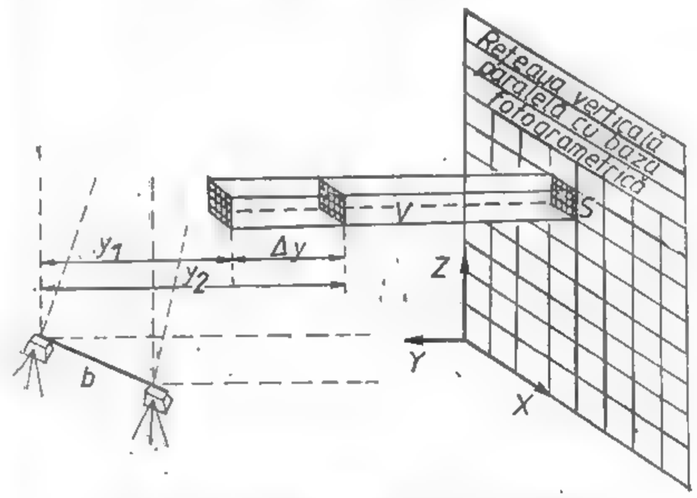


Fig. XV.115. Principiul reţelei verticale.

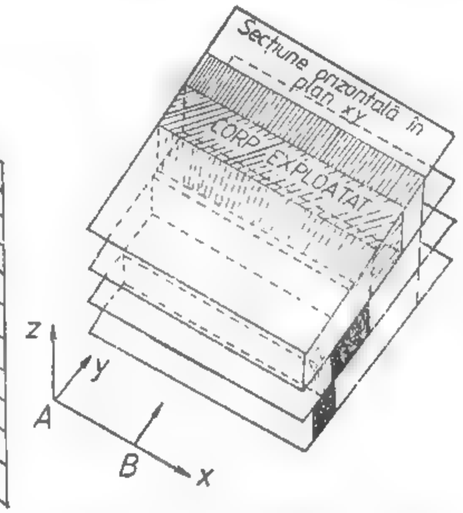


Fig. XV.116. Principiul secţiunilor orizontale.

Volumul excavat delimitat de două secţiuni se calculează cu una din relaţiile:

$$V_t = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot d \qquad (5.64\ a)$$

sau

$$V_t = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} \cdot d \qquad (5.64\ b)$$

în care: $S_1 S_2$ sînt ariile secţiunilor; d este echidistanţa între secţiuni.

Relaţia (5.64 a) se foloseşte cînd S_1 şi S_2 au valori apropiate, iar relaţia (5.64 b) cînd ariile secţiunilor sînt diferite.

Pentru operativitate în calcul se alege un sistem de coordonate particular, cu axa X perpendiculară cu frontul de lucru, iar axa Y pe direcţia de înaintare. În acest caz volumul total va fi:

$$V_t = \Delta Z \frac{[S_1 + S_2 + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})]}{2} \qquad (5.65\ a)$$

sau

$$V_t = \frac{\Delta Z}{3} [(S_1 + S_n + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})] + \sqrt{S_1 S_2} + \ldots + \sqrt{S_{n-1} S_n} \qquad (5.65\ b)$$

Din relaţiile de mai sus se constată că ΔZ este constant, iar ariile suprafeţelor sînt variabile. Calculul suprafeţelor reprezintă operaţia cea mai laborioasă şi mai pretenţioasă, de aceea trebuie să i se acorde toată atenţia.

Pentru calculul ariilor fiecărei secţiuni se recomandă folosirea relaţiei:

$$2S = X_{ij}(Y_{ij+1} - Y_{ij-1}) \tag{5.66}$$

care poate fi programată pentru calcul automatizat, sau poate fi determinată prin metode grafice.

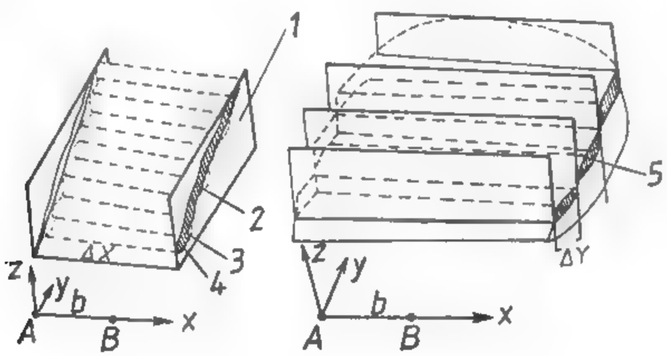


Fig. XV.117. Principiul secţiunilor verticale:
1 — secţiune verticală în planul YZ; 2 — treaptă proiectată; 3 — situaţia excavaţiei; 4 — teren; 5 — corp exploatat.

Metoda secţiunilor orizontale se aplică în cazul exploatării cu trepte uniforme desfăşurate pe lungime. ΔZ poate fi considerat tocmai înălţimea treptei de exploatare.

Procedeul secţiunilor verticale. Aceste secţiuni pot fi perpendiculare pe frontul de lucru (fig. XV.117) şi paralele cu frontul de lucru. Procedeul de măsurare şi calcul este asemănător cu metoda mai sus amintită, că elementele constantei vor fi ΔX pentru planele de secţionare perpendiculare pe front sau ΔY pentru planele paralele la front.

$$V_t = \Delta X \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})]}{2} \tag{5.67}$$

$$V_t = \Delta Y \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})]}{2} \tag{5.68}$$

Procedeul secţiunilor are avantajul că permite calculul volumelor separat pe trepte. Ariile şi respectiv volumele se pot determina pentru fiecare material în parte, pe util şi steril. Volumul excavat se însumează apoi defalcat pe trepte şi materiale, după care se însumează obţinîndu-se volumul total.

5.9.2. MĂSURAREA DEPOZITELOR DE STERIL

Măsurarea haldelor de steril constă în urmărirea stabilităţii acestora, a taluzelor şi în determinarea cantităţii depozitate. Pentru aceasta, pe baza înregistrărilor fotografice periodice se redactează şi completează periodic planul topografic la scara 1: 1 000. Pentru realizarea fotogramelor se stabileşte o bază de observaţie din baze de prelucrare şi puncte de reper ce trebuie să îndeplinească condiţiile stabilite în § 5.8.1 (fig. XV.118).

Urmărirea stabilităţii haldei constă în măsurarea unghiurilor de taluz deformate şi a influenţei haldei asupra terenului înconjurat. Volumul de steril depozitat se stabileşte prin metoda reţelei orizontale sau a secţiunilor (§ 5.9.1).

Măsurarea iazurilor de decantare are ca scop determinarea înălţimii acestora, deplasărilor pe orizontală a digurilor iazului şi a volumului decantat. În acest sens, din puncte de staţie stabile şi determinate se efectuează fotograme, prin prelucrarea, cărora se obţine planul de situaţie al iazului de decantare la scara convenabilă 1: 1 000 (fig. XV.119). Volumul depozitat se determină printr-unul din procedeele cunoscute de calcul a volumelor.

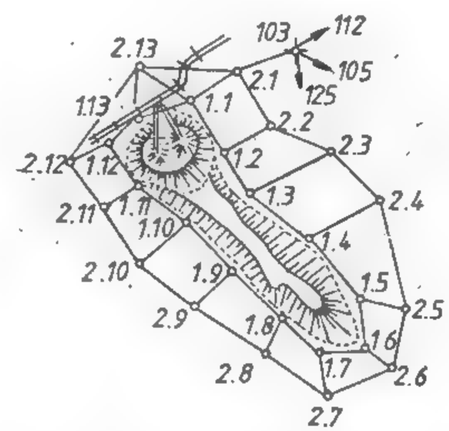


Fig. XV.118. Staţia de urmărire a depozitelor de steril.

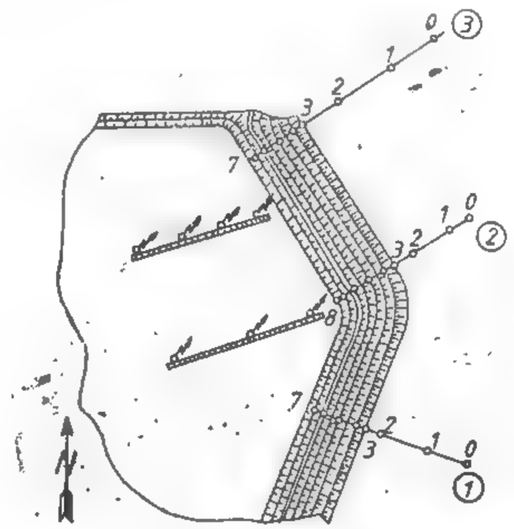


Fig. XV.119. Staţia de urmărire a iazurilor de decantare.

Urmărirea periodică a deplasărilor se face prin staţii special amenajate, care constau din repere amplasate pe aliniamente, pe digul iazului şi continuate pînă în afară, în teren stabil. Determinarea punctelor de staţie şi a punctelor de reper se determină prin metode topografice. Bazele de fotografiere trebuie amplasate perpendicular pe aliniament. Pentru reducerea numărului de puncte determinate topografic, un capăt al bazei poate fi considerat reper fix al aliniamentului.

Constatarea deplasării digurilor de decantare se face prin compararea cotelor punctelor reper la fiecare determinare şi a distanţelor dintre punctele reper. Reprezentarea acestor deplasări se realizează în planul YZ pentru cote şi în plan XY pentru deplasări orizontale.

5.9.3. MĂSURAREA ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Scopul măsurării albiilor de scufundare este studierea deplasării rocilor ca urmare a exploatării subterane. Datorită aspectului pe care îl prezintă uneori albiile de scufundare — cu pante mari neuniforme, cu pereţi abrupţi, crăpături, adînci, urmărirea acestora se poate face numai prin metoda fotogrammetrică (fig. XV.120).

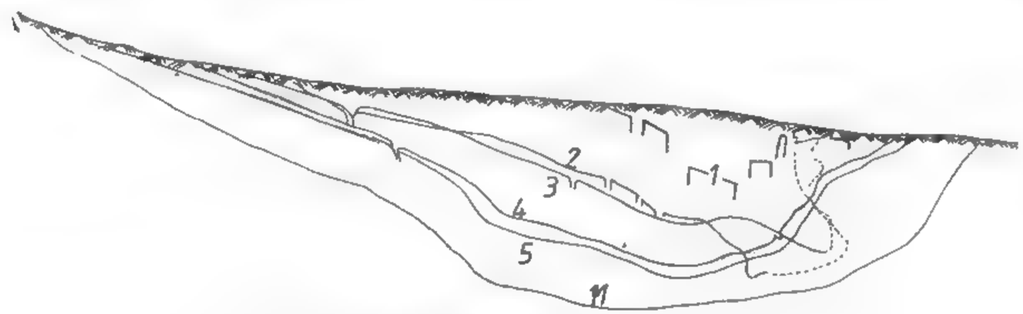


Fig. XV.120. Secţiune printr-o albie de scufundare.

Pentru urmărirea albiei de scufundare este necesar a se fixa o staţie de observaţie care constă în stabilirea şi amplasarea bazelor fotogrammetrice în puncte fixe dispuse în afara zonei de influenţă şi puncte de reper amplasate atît în zona de influenţă cît şi în locuri stabile. Punctele staţiei de observaţie se determină atît din punct de vedere planimetric cît şi altimetric, prin metode ale topografiei clasice, ele folosind la orientarea exterioară a prelucrării fotogramelor. Prin prelucrarea fotogramelor se obţin, pe cale fotogrammetrică, la un aparat de restituţie:

— planul de situaţie al albiei de scufundare la o scară convenabilă;
— secţiuni direcţionale şi transversale prin albia de scufundare.

Evoluţia în timp a albiei de scufundare este determinată prin urmărirea periodică a acesteia. Înregistrările fotografice se efectuează din aceleaşi puncte de staţie, iar punctele de reper fixe se menţin aceleaşi pe toată durata măsurătorilor.

5.9.4. MĂSURĂTORI ÎN SUBTERAN

Folosirea fotogrammetriei în subteran este relativ nouă, fiind utilizată ca procedeu pentru măsurători în cazuri speciale. Din cauza unor dificultăţi în iluminarea obiectelor de fotografiat, a spaţiilor restrînse şi a vizibilităţii reduse, pînă în prezent nu s-a dezvoltat pe măsura posibilităţii ei de aplicare.

Dezvoltarea sistemelor de înregistrare a imaginilor termice folosind pelicule sensibile în infraroşu, ce pot fotografia în întuneric, va contribui la utilizarea fotogrammetriei în subteran. De asemenea, introducerea calculatoarelor în preluarea analitică şi automată a fotogramelor va dezvolta aplicarea fotogrammetriei în rezolvarea diverselor probleme subterane. În subteran, metodele fotogrammetrice sînt posibile de aplicat ţinînd seama de următoarele precauţii:

— datorită distanţei mici între obiect şi obiectiv, preluarea se face cu fototeodolite universale, cu camere stereometrice cu baza mică sau cu aparate obişnuite etalonate. Fotografierea se face şi dintr-un singur punct de staţie, cu axa de foto-

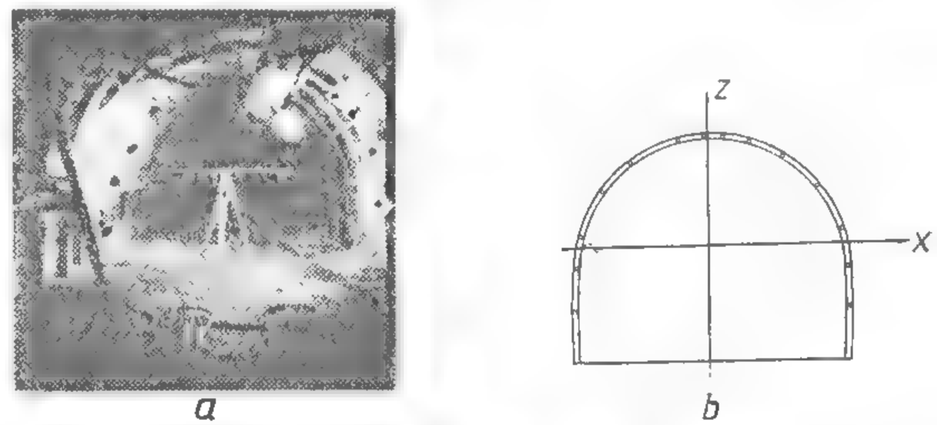


Fig. XV.121. Secţiunea transversală a unei galerii.

grafiere orizontală şi perpendiculară pe planul obiectului (planul lucrării miniere) sau două puncte de staţie, numai în cazul normal al stereofotogrammetriei. Dintre aplicaţiile cu rezultate mai spectaculoase reţinem:

— măsurarea deformaţiilor lucrărilor miniere datorită presiunii rocilor înconjurătoare;
— determinarea secţiunilor transversale ale galeriilor (fig. XV.121).

Măsurarea deformaţiilor lucrărilor miniere constă în urmărirea în timp a evoluţiei fisurilor ce apar pe pereţii lucrărilor miniere, ca urmare a presiunii rocilor înconjurătoare. Pentru aceasta este nevoie de amplasarea unor repere martori pe pereţii lucrării miniere.

Avînd în vedere că depărtarea Y se menţine oarecum constantă, este de preferat fotografierea dintr-un singur punct de staţie. Dacă la urmărirea în timp a fisurilor se utilizează metoda măsurării paralaxelor cu baza de timp, precizia de determinare creşte simţitor, deoarece se reduc măsurătorile de coordonate fotogrammetrice, rămînînd doar ercarea de măsurare a paralaxei. Restituţia se face analogic sau grafic, pe planul XZ determinîndu-se deschiderea fisurii, lungimea şi poziţia ei.

XVI. MECANICA ROCILOR

Conf. dr. ing. CORNEL HIRIAN
Conf. dr. ing. GHEORGHE ONCIOIU
Şef lucrări dr. ing. ADRIAN TODORESCU

1. BAZELE TEORETICE ALE MECANICII ROCILOR

1.1. DEFINIŢII ŞI CONCEPTE DE BAZĂ

Un masiv de rocă este supus acţiunii a două tipuri de forţe: 1) *exterioare* şi 2) *interioare*. Acţiunea forţelor exterioare asupra masivului sau orice modificare naturală, respectiv artificială, realizată în structura acestuia, care atrage după sine modificarea forţelor interioare, a poziţiilor şi distanţelor dintre diferitele puncte ale lui, are drept rezultat crearea unei stări de *tensiune-deformare*. A determina o asemenea stare înseamnă a evalua în fiecare punct al masivului creşterea valorică a forţelor interioare şi a deplasărilor punctelor în spaţiu. Raportarea forţelor interioare la unitatea de suprafaţă constituie noţiunea de *tensiune*, adică:

$$p = \sigma_n = \frac{dF_i}{dA} \tag{1.1}$$

iar raportarea deplasărilor la unitatea de lungime constituie noţiunea de *deformaţie*:

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dl} \tag{1.2}$$

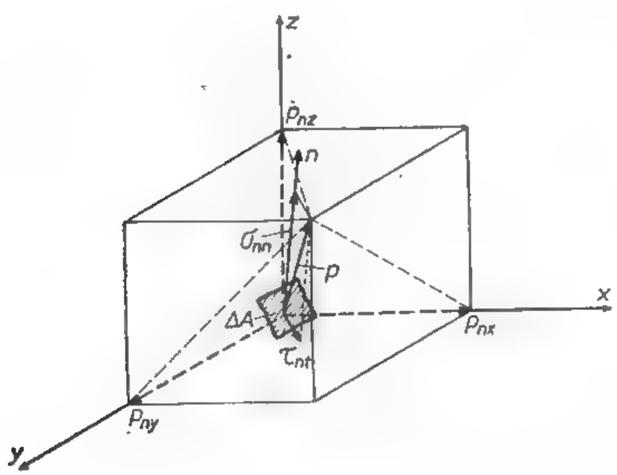


Fig. XVI.1. Definirea noţiunii de tensiune şi componentele normală şi de forfecare.

unde: δ — poate fi: u; v sau w. Unitatea de măsură, conform analizei dimensionale $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ în SI a tensiunii este N/m^2 sau Pa, iar deformaţia este adimensională. Tensiunea p are două componente (fig. XVI.1) reciproc perpendiculare, una normală

σ_{nn} ce acţionează după direcţia normalei n şi una tangenţială τ_{nt} situată în planul de secţionare. Trei suprafeţe reciproc perpendiculare caracterizează un volum elementar şi ca urmare starea de tensiune respectiv de deformare a acestuia (fig. XVI.2), sau

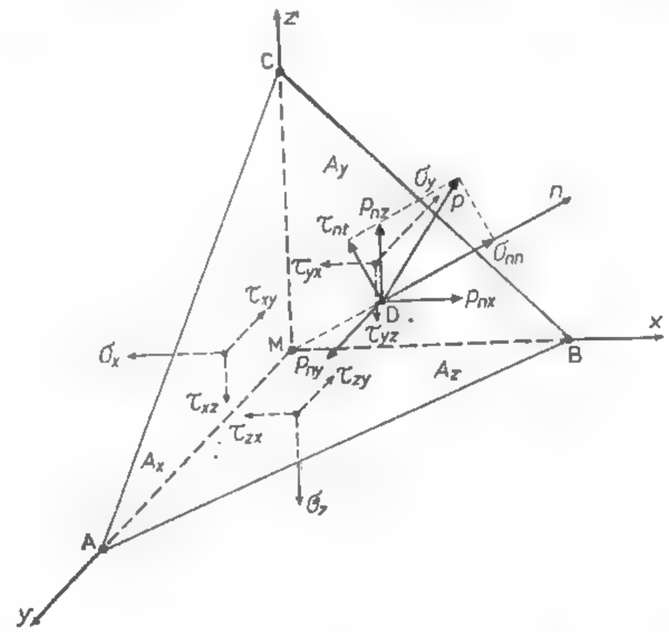


Fig. XVI.2. Starea de tensiune într-un punct.

a unui punct M, poate fi determinată de 9 componente ale tensiunilor ori a deformaţiilor, care conform principiului dualităţii se reduc la 6. Analiza stării de tensiune sau de deformare poate fi făcută fie pe cale analitică, fie pe cale grafică.

1.1.1. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE ANALITICĂ

Totalitatea tensiunilor normale şi tangenţiale ce corespund secţiunilor duse prin punctul M (fig. XVI.2) caracterizează starea de tensiune din jurul acestui punct. Analitic ea este definită pe deplin dacă se cunoaşte tensorul tensiunii $|T_\sigma|$. Ansamblul componentelor stării de tensiune într-un punct, redate matricial, formează un tensor de ordinul II simetric — *tensorul total al stării de tensiune* — $|T_\sigma|$ a cărui expresie este redată în tabelul XVI.1. Dacă $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ este starea de tensiune din M, atunci pe orice suprafaţă va acţiona numai o tensiune normală σ_0, iar $\sigma_{ijk} = 0$. Tensorul corespunzător acestui caz se numeşte *tensor sferic* al tensiunii $|T_{\sigma_0}|$ (tabelul XVI.1) şi corespunde sării prin care se poate realiza schimbarea volumului fără modificarea formei. Starea de tensiune prin care se poate schimba forma, exprimată matricial, se numeşte *deviatorul stării de tensiune*: $|D_\sigma| = |T_\sigma| - |T_{\sigma_0}|$. Deci o stare de tensiune este definită de o expresie de forma:

$$|T_\sigma| = |T_{\sigma_0}| + |D_\sigma| \tag{1.3}$$

Tabelul XVI. 1

Expresiile tensorilor de tensiune şi de deformare

Tensorul total al stării de tensiune	Tensorul total al stării de deformare
$\lvert T_\sigma \rvert = \lvert T_{\sigma 0} \rvert + \lvert D_\sigma \rvert$	$\lvert T_\varepsilon \rvert = \lvert T_{\varepsilon 0} \rvert + \lvert D_\varepsilon \rvert$
Cazul eforturilor oarecare:	Cazul deformaţiilor oarecare:
$\begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_x-\sigma_m & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y-\sigma_m & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z-\sigma_m \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \frac{1}{2}\gamma_{zx} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{zy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & \varepsilon_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \varepsilon_m & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_m & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_m \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \varepsilon_x-\varepsilon_m & \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \frac{1}{2}\gamma_{zx} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y-\varepsilon_m & \frac{1}{2}\gamma_{zy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & \varepsilon_z-\varepsilon_m \end{vmatrix}$
Cazul eforturilor principale	Cazul deformaţiilor principale:
$\begin{vmatrix} \sigma_{11} & \tau_{21} & \tau_{31} \\ \tau_{12} & \sigma_{22} & \tau_{32} \\ \tau_{13} & \tau_{23} & \sigma_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_1-\sigma_0 & \tau_{21} & \tau_{31} \\ \tau_{12} & \sigma_1-\sigma_0 & \tau_{32} \\ \tau_{13} & \tau_{23} & \sigma_1-\sigma_0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} \varepsilon_{11} & \frac{1}{2}\gamma_{21} & \frac{1}{2}\gamma_{31} \\ \frac{1}{2}\gamma_{12} & \varepsilon_{22} & \frac{1}{2}\gamma_{32} \\ \frac{1}{2}\gamma_{13} & \frac{1}{2}\gamma_{23} & \varepsilon_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \varepsilon_0 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \varepsilon_1-\varepsilon_0 & \frac{1}{2}\gamma_{21} & \frac{1}{2}\gamma_{31} \\ \frac{1}{2}\gamma_{12} & \varepsilon_1-\varepsilon_0 & \frac{1}{2}\gamma_{32} \\ \frac{1}{2}\gamma_{13} & \frac{1}{2}\gamma_{23} & \varepsilon_3-\varepsilon_0 \end{vmatrix}$
unde:	
$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$	$\varepsilon_m = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$
$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$	$\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$

explicitată în tabelul XVI.1. În funcţie de modelul mediului continuu (dens), pentru determinarea stării de tensiune-deformare a unui masiv de rocă există un sistem format din 9 ecuaţii (în coordonate carteziene sau polare) (tabelul XVI.2), independente (ecua-

Tabelul XVI.2

Sistemul de ecuaţii pentru determinarea stării de tensiune-deformare

Ecuaţiile de echilibru	
Dinamic	Static
$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = \gamma_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = 0$
$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = \gamma_a \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = 0$
$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = \gamma_a \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = 0$
$\tau_{xy} = \tau_{yx}$ $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ $\tau_{zx} = \tau_{xz}$	

Ecuaţiile de compatibilitate	
Prima grupă	A doua grupă
$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2}$	$2\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z}\left[-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y}\right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2}$	$2\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x}\left[-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z}\right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x} = \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2}$	$2\frac{\partial \varepsilon_z}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y}\left[-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y}\right]$

ţiile lui *Cauchy*, ecuaţiile de echilibru, ecuaţiile de continuitate sau condiţiile lui *Saint-Venant*) cu 15 necunoscute: σ_x; σ_y; σ_z; τ_{xy}; τ_{yz}; τ_{zx}; ε_x; ε_y; ε_z; γ_{xy}; γ_{yz}; γ_{zx}; u; v; w, adică static nedeterminat. Ridicarea nedeterminării se realizează prin introducerea ecuaţiilor fizice de stare, caracteristice fiecărui model considerat. Asemenea ecuaţii unesc, prin corelaţii bine definite, tensiunile şi deformaţiile numindu-se *legi fizice constitutive*. În funcţie de tipul legăturii σ-ε se deosebesc următoarele stări de bază tensiune-deformare: elastică, plastică, vîscoasă şi combinaţii ale acestora.

1.1.2. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE GRAFICĂ

Un asemenea deziderat se poate realiza prin intermediul cercurilor lui *Mohr*, a căror ecuații sînt de forma : $y^2 + (x - x_0)^2 = r^2$, adică :

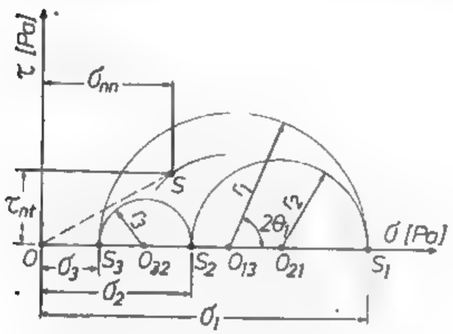


Fig. XVI.3. Cercul lui Mohr.

$$\tau_{nt}^2 + \left(\sigma_{nn} - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}\right)^2$$

$$\tau_{nt}^2 + \left(\sigma_{nn} - \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}\right)^2$$

$$\tau_{nt}^2 + \left(\sigma_{nn} - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 \qquad (1.4)$$

cu centrele pe axa σ, la distanțele OO_1 ; OO_2 ; OO_3 și razele r_1 ; r_2 ; r_3 (fig. XVI.3). Deci locul geometric al punctelor S_i ce reprezintă stări de eforturi obținute prin variația continuă a unghiului θ este un cerc denumit *cercul lui Mohr* și a cărui ecuație se stabilește funcție de starea de tensiune în care ne situăm : triaxială, plană, liniară. Cercul lui *Mohr* este o tehnică de calcul și nu o reprezentare fizică a unei stări de tensiune sau de deformare.

1.2. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII ELASTICE

Mediile elastice se caracterizează prin cel mai simplu tip de corelație $\sigma - \varepsilon$ și anume *legătura elastică* sau *modelul elastic* de comportare a masivului omogen și izotrop. Ecuația constitutivă în contextul precizat este legea generalizată a elasticității — *legea lui Hooke* — de forma :

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \qquad \gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}[\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] \qquad \gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz} \qquad (1.5)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[(\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] \qquad \gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx}$$

Din punct de vedere practic, de mare interes pentru activitatea minieră sînt cazurile particulare ale stării de tensiune-deformare spațiale și anume *starea plană și liniară*. Starea plană apare cînd $\sigma_z = 0$ și $\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$, adică tensorul de tensiune devine :

$$|T_\sigma| = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{vmatrix} \qquad (1.6)$$

iar legea constitutivă redată matricial are forma : $\{T_\sigma\} = [A]\{T_\varepsilon\}$ sau explicitată

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\mu)} \end{bmatrix} \qquad (1.7)$$

1.3. PLASTICITATEA. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII PLASTICE. CONDIȚII DE PLASTICITATE

Comportamentul plastic este proprietatea pe care o au corpurile solide de a suferi deformații permanente fără a-și pierde coeziunea după încetarea forțelor exterioare care le-au creat deformarea (fig. XVI.4). Din punct de vedere practic, noțiunea de plasticitate se leagă de stadiul stării de tensiune. Se admite ca limită de plasticitate efortul corespunzător unor deformații $\varepsilon_r = 0{,}03\ \%$. Noțiunea de *plasticitate* permite stabilirea unor legi cu ajutorul cărora se pot realiza o serie de probleme în care au loc deformații complexe, neliniare.

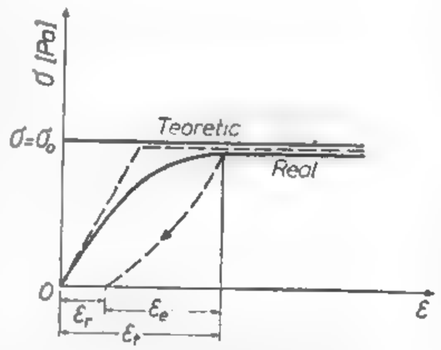


Fig. XVI.4. Comportament plastic.

Starea plastică a rocii care poate să survină imediat după starea elastică exprimată printr-o funcție de tensiune (f) este denumită *condiție de plasticitate*. Forma generală a acestei funcții este exprimată prin o serie de relații ca :

$$f(J_1 ; J_2 ; J_3) = 0 \text{ sau } f = \sigma - \psi(\alpha_k) \qquad (1.8)$$

În decursul timpului s-a ajuns la o îngustare a generalității și la apariția mai multor relații sau condiții de plasticitate. Astăzi se utilizează următoarele forme ale funcției (f), relația (1.8) :

1) *Condiția de plasticitate Huber-Von Mises — Henky*, sub forma :

$$f = J_2 - \psi(\alpha_k) = (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 - 2\sigma_e = 0 \qquad (1.9)$$

În cazul monoaxial, pentru o solicitare la tracțiune : cînd $\sigma_1 = \sigma_e$; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, condiția devine :

$$\frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_e = k \qquad (1.10)$$

iar pentru o solicitare la forfecare : cînd $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau_e$; $\sigma_2 = 0$, condiția devine $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \tau_e \qquad (1.11)$$

Această condiție descrie foarte bine comportamentul argilelor saturate și nedrenate.

2) *Condiția de plasticitate Saint-Venant — Tresca* exprimă funcția (f) sub forma :

$$f = sup[(\sigma_i - \sigma_j) - \psi(\alpha_k)] \qquad (1.12)$$

dacă :

$$max|\tau_n|_{ij} = \frac{1}{2}(\sigma_i - \sigma_j) \qquad (1.13)$$

atunci relația (1.12) devine :

$$\{|\tau_n|\}_{max} = k \qquad (1.14)$$

adică roca trece în stare plastică atunci cînd tensiunea tangențială maximă atinge o anumită valoare critică independentă de felul stării de tensiune. Monoaxial, condiția devine :

— pentru tracțiune :

$$\frac{1}{2}\sigma_e = k$$

— pentru forfecare $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_e$ sau $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{2} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \tau_e \qquad (1.15)$$

3) *Condiția de pasticitate a lui Mohr* presupune că *în cazul stării plastice a rocii diferența maximă dintre valoarea absolută a tensiunii tangențiale și o anumită funcție de tensiunea normală care acționează după aceeași suprafață este zero*, adică :

$$max\,|\{\tau_n\}| - f\,|(\sigma_n)| = 0 \qquad (1.16)$$

sau :

$$f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) - F_1\left[\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)\right] = 0 \qquad (1.17)$$

unde funcția F_1 depinde de σ_1, σ_3, φ, adică caracterizează proprietățile mecanice ale rocii. În plan se reprezintă sub forma unei curbe înfășurătoare (fig. XVI.5), ca și curbă limită. Condițiile considerate nu includ însă efectul tensiunii principale intermediare σ_2.

4) *Condiția de plasticitate a lui Druker-Prager* generalizează criteriul de plasticitate sub forma unei *legi de curgere* de tipul :

$$f = \alpha \cdot J_1 - \sqrt{J_2} - k = 0 \qquad (1.18)$$

sau :

$$f = \alpha(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) + \left\{\frac{1}{6}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 - k = 0\right. \qquad (1.19)$$

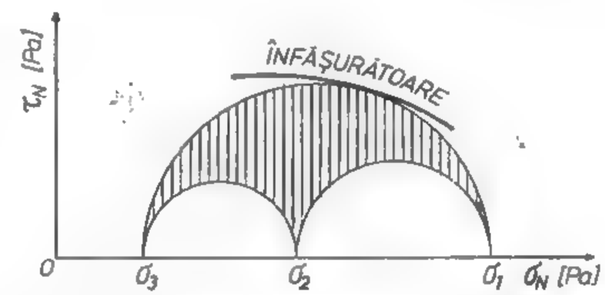


Fig. XVI.5. Curba înfășurătoare — curbă limită.

unde α și k sînt constante pozitive date de expresiile :

$$\alpha = \frac{tg\,\varphi}{(9 + 12\,tg^2\,\varphi)^{1/2}} \qquad k = \frac{3C}{(9 + 12\,tg^2\,\varphi)^{1/2}} \qquad (1.20)$$

1.4. MECANISMUL DE REZISTENȚĂ ȘI FRACTURARE A ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE. IPOTEZE DE RUPERE

Odată cu creșterea solicitării $\sigma_i > \sigma_e$ în rocă se produc modificări ireversibile, comportamentul este neliniar-neelastic, iar starea de echilibru din interiorul masei de roci se modifică atît de mult încît apare pericolul de rupere, moment în care rezistența și stabilitatea acesteia începe să se diminueze din ce în ce mai mult, pînă sînt compromise. Pe o curbă caracteristică $\sigma - \varepsilon$, pragul de la care este posibilă apariția ruperii este definit fie de punctul (d) în cazul rocilor casante, fie de punctul (c) în cazul rocilor ductile (fig. XVI.6). Un asemenea prag poate fi denumit *limită de rupere* sau *de curgere*. O serie de ipoteze sub forma unor criterii încearcă evidențierea și stabilirea unui astfel de prag. Criteriul lui *Coulomb* sugerează că la ruperea prin forfecare a rocilor, efortului tangențial τ_n, care tinde să producă ruperea după un plan oarecare, i se opun coeziunea c și efortul normal σ_n multiplicat cu tangenta unghiului de frecare interioară : $\tau_n = c + \sigma_n \cdot tg\,\varphi$. Considerînd

cazul solicitării triaxiale cilindrice : $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ (fig. XVI.7), și cu ajutorul *cercului lui Mohr* condiția de rupere devine :

$$\tau_N = r \cdot \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos \varphi. \tag{1.21}$$

$$\sigma_N = \overline{OO_1} - r \cos 2\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \varphi.$$

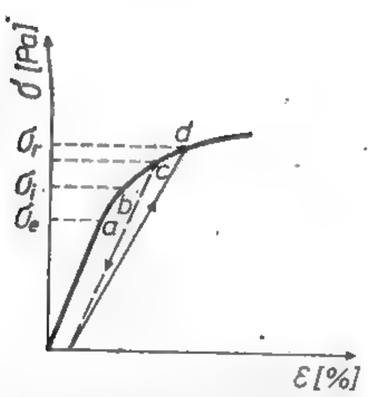


Fig. XVI.6. Curba caracteristică tensiune-deformare.

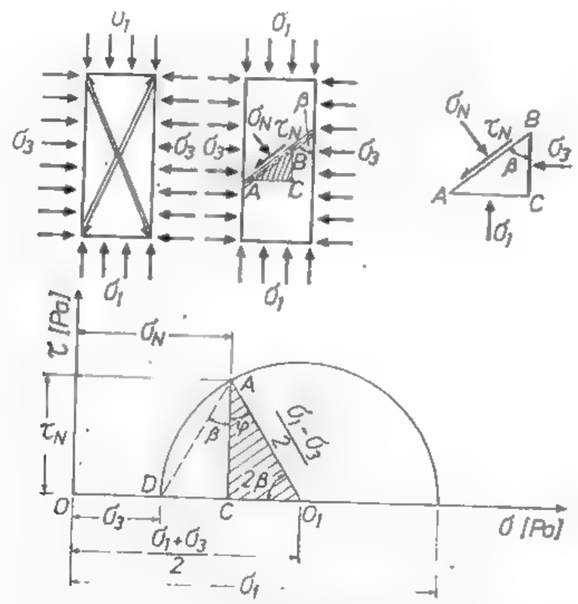


Fig. XVI.7. Cercul lui Mohr în solicitare triaxial-cilindrică.

expresii care, înlocuite în relația inițială a lui *Coulomb*, ne conduc la relația :

$$\sigma_1 = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3 \tag{1.22}$$

sau :

$$\sigma_1 = Q + j\, \sigma_3 \tag{1.23}$$

în care : Q este rezistența de rupere la compresiune monoaxială ;

j — coeficient funcție de valoarea unghiului de frecare interioară ;

$$Q = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \qquad j = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{1}{i} \tag{1.24}$$

Criteriul de rupere devine :

$$\sigma_1 \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) - \sigma_3 \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = 2c \tag{1.25}$$

și este o linie dreaptă MNT în planul eforturilor σ_1 ; σ_3, care taie axa σ_1 în punctul N, iar axa σ_3 în punctul M (fig. XVI.8).

$$\overline{ON} = 2c \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right); \qquad \overline{OM} = 2c \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \tag{1.26}$$

Dacă cantitatea ON este rezistența de rupere la compresiune, totuși cantitatea OM nu reprezintă rezistența de rupere la tracțiune (cum se afirmă de fapt), deoarece condițiile fizice limitează criteriul la o porțiune din MNT, adică GNT și deci $OM_1 = \sigma_t$. În reprezentarea cu ajutorul *cercului lui Mohr*, criteriul devine $\tau_m = c \cdot \cos \varphi + \sigma_m \cdot \sin \varphi$ și care în planul τ_m, σ_m este o linie dreaptă (fig. XVI. 9). Ruperea se produce dacă *cercul lui*

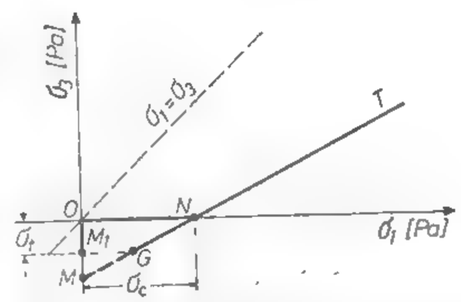


Fig. XVI.8. Criteriul de rupere.

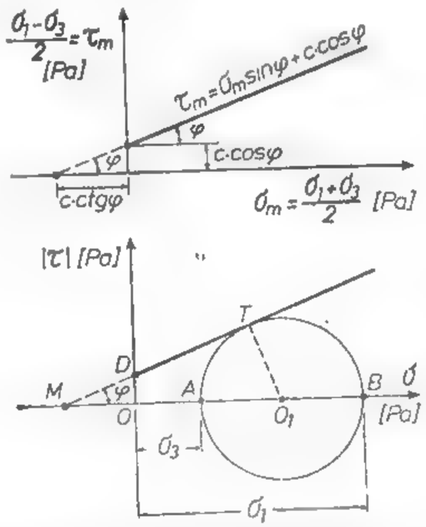


Fig. XVI.9. Reprezentarea cu ajutorul cercului lui Mohr a criteriului de rupere a lui Coulomb.

Mohr atinge cu diametrul linia MDT, adică :

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \left[c \operatorname{ctg} \varphi + \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \right] \sin \varphi. \tag{1.27}$$

Un asemenea criteriu se aplică în cazul rocilor fără coeziune (clastice), cu coeziune mică (rocile argiloase) și în cazul acelor roci care nu manifestă ruperi preferențiale la forfecare pe anumite direcții. Astfel:

— *în cazul rocilor clastice* ($c = 0$), (fig. XVI.10, *a*) criteriul este o linie dreaptă ce trece prin originea sistemului de axe (τ; σ) și deci $\tau = \sigma \cdot \text{tg}\,\varphi$. Ruperea se produce cînd *cercul lui Mohr* este tangent la această dreaptă, condiția limită fiind:

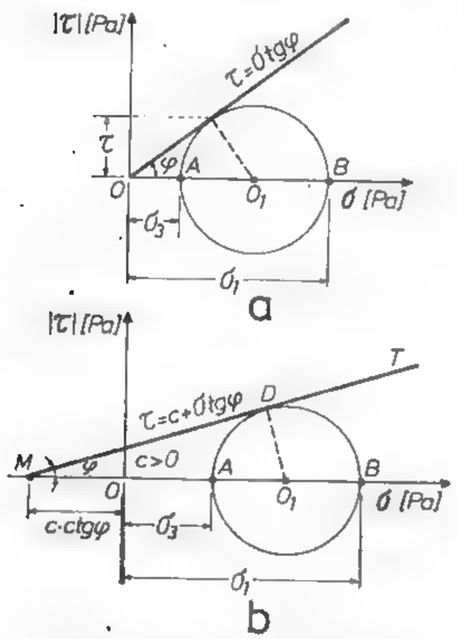


Fig. XVI.10. Criteriul de rupere a lui Coulomb.

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} \geqslant \frac{\overline{OO_1} - \overline{O_1A}}{\overline{OO_1} + \overline{O_1B}} = \frac{\overline{OO_1} - r}{\overline{OO_1} + r} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = i \tag{1.28}$$

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \geqslant i = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right);$$

— *în cazul rocilor cu coeziune*, ($c \neq 0$), (fig. XVI. 10, *b*) condiția devine:

$$\frac{\sigma_3 + c \cdot \text{ctg}\,\varphi}{\sigma_1 + c \cdot \text{ctg}\,\varphi} \geqslant \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}\ ;\ \text{sau}\ \sin\varphi \geqslant$$

$$\geqslant \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \text{ctg}\,\varphi} \tag{1.29}$$

iar

— *în cazul unui masiv stratificat și condiții hidrogeologice evidente*, ruperea se produce după plane de alunecare înclinate cu un unghi față de tensiunile principale (fig. XVI.11):

$$\sigma = -\sigma_z \cos\beta \cdot \cos\beta - \sigma_x \sin\beta \cdot \sin\beta.$$

$$\tau = -\sigma_z \cos\beta \cdot \sin\beta + \sigma \sin\beta \cos\beta.$$

care introduse în $\tau \leqslant c + (\sigma - u_1) \cdot \text{tg} \cdot \varphi$. ne conduc la condiția:

$$\sigma_z \cos\beta \cdot \sin(\varphi - \beta) + \sigma_x \sin\beta \cdot \cos(\varphi - \beta) + c \cdot \cos\varphi - u_1 \sin\varphi > 0 \tag{1.30}$$

sau cînd $c = 0$ și $u_1 = 0$ la condiția:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_z} = -\frac{\text{tg}(\varphi - \beta)}{\text{tg}\,\beta} - \frac{\text{tg}(\beta - \varphi)}{\text{tg}\,\beta} \tag{1.31}$$

Utilizarea acestei relații în cazul unei lucrări miniere executate în masiv stratificat (caracterizat de: $\sigma_z = 2$[MPa]; $\beta = 50^\circ$; $\varphi = 40^\circ$; $u_1 = 0$ și $c = 0$), (fig. XVI.11), stabilește

valoarea efortului lateral necesar pentru menținerea stabilității ca fiind de: $\sigma_x = \sigma_y = 0{,}2$ [MPa]. *Criteriul lui Mohr* presupune că ruperea se produce în momentul în care se îndeplinește condiția de plasticitate, relația (1.16). O asemenea expresie poate fi reprezentată grafic printr-o curbă — înfășurătoare — fie de tip parabolic, fie cicloidal, fie chiar sub forma unei drepte. Curba dată de expresia (1.16) nu este gîndită pentru a fi obținută de o ecuație explicită, ci presupune că se obține experimental ca înfășurătoare a *cercurilor lui Mohr*, corespunzătoare ruperii în condiții diferite. Pentru acest motiv a fost denumită *înfășurătoarea lui Mohr* (fig. XVI.12). În cazul stării de tensiune σ_1; σ_2; σ_3, (condiția $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) ruperea se va produce atunci cînd cercul cu diametrul $\sigma_1 - \sigma_3$ devine tangent la curba intrinsecă $\widehat{AB}$. O asemenea constatare permite evidențierea a două concluzii: (1) valoarea efortului principal intermediar σ_2, după *Mohr*, nu afectează ruperea și (2), planul de rupere trece prin direcția efortului principal intermediar și normala la el face unghiul β cu direcțiile lui σ, iar 2β este unghiul $\widehat{TO_1\sigma}$ dintre normala la curbă și axa $O\sigma$. Experimental s-a constatat că: (1) normala la *înfășurătoarea Mohr* determină direcția de rupere; (2) înfășurătoarea este de obicei concavă, astfel că cu cît valoarea medie a efortului crește, planul de rupere devine înclinat cu un unghi mai mare față de direcția lui σ_1. Curba înfășurătoare crește continuu cu σ_3, astfel încît se va deschide spre dreapta. Asemenea constatări sînt adevărate numai pentru încercări poliaxiale axial simetrice. În contextul ruperii trebuie luată în considerare și influența efortului principal intermediar. În funcție de tipul geometric al înfășurătorilor se pot distinge o serie de

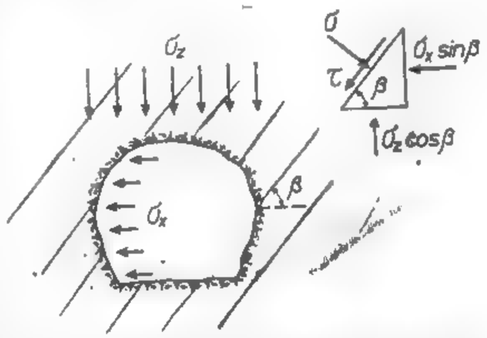


Fig. XVI.11. Producerea ruperii după plane de alunecare înclinate a unui masiv stratificat.

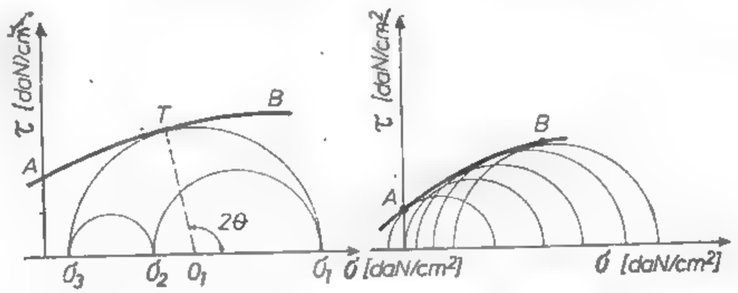


Fig. XVI.12. Înfășurătoarea lui Mohr.

cazuri: *cazul înfășurătorii de tip liniar*, cunoscut și sub denumirea de *criteriul Coulomb-Mohr*, este redat analitic prin relația:

$$\sin TAO_1 = \frac{\overline{O_1T}}{AO_1} = \frac{\tau_m}{\sigma_m + c \cdot \text{ctg}\,\varphi} = \sin\varphi \tag{1.32}$$

conform fig. XVI.13 și, ca urmare, ecuația înfășurătorii liniare este deci : $\tau = c + \sigma \cdot \mathrm{tg}\varphi$. Expresia care redă spațial (sub forma unui con) *criteriul lui Coulomb-Mohr* este de forma :

$$(k + \sigma_{oct}) \cdot \mathrm{tg}\,\gamma^{\circ} - \tau_{oct} = 0 \qquad (1.33)$$

unde : $k = c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi$, iar $\gamma = 45 - j$, în care $j = (1 + \sin\varphi)/(1 - \sin\varphi)$.

Cazul înfășurătorii de tip cicloidal este redat printr-o serie de relații. De exemplu, pentru cărbuni se recomandă utilizarea ecuațiilor cicloidei de forma :

$$\sigma + \sigma_t = \frac{1}{2} k(4\psi - \sin 4\psi)$$

$$\tau = \frac{1}{2} k(1 - \cos 4\psi) \qquad (1.34)$$

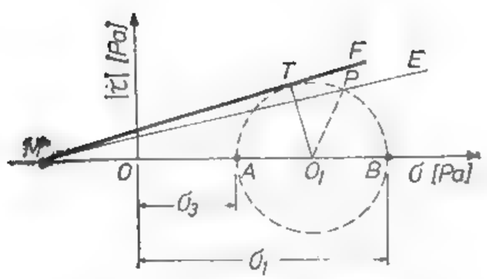


Fig. XVI.13. Cazul înfășurătorii de tip liniar.

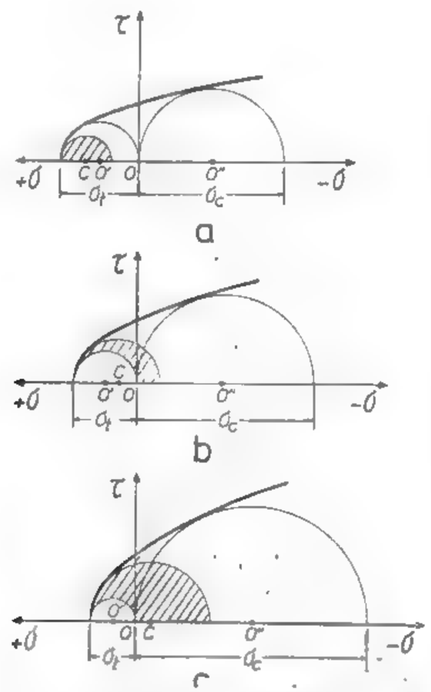


Fig. XVI.14. Cazul înfășurătorii de tip parabolic :

unde k este raza cercului osculator de vîrf al cicloidei, dat de relația :

$$k = \frac{\sigma_t - c\,\mathrm{ctg}\,\varphi}{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \mathrm{ctg}\,\varphi} \qquad (1.35)$$

Cazul înfășurătorii de tip parabolic, a cărei ecuație este de forma :

$$\tau = (c - \sigma \cdot \mathrm{tg}\,\varphi)^{\frac{1}{2}} \qquad (1.36)$$

a permis, pentru roci, funcție de poziția centrului cercului osculator de vîrf al parabolei, diversificarea a trei comportamente de deformare :

$$\tau = 0; \quad \sigma = \sigma_t \left[1 - \sqrt{(1 + j)} + \frac{1}{2} j\right] \qquad (1.37)$$

(1), comportament plastic, cînd $j < 3$, (fig. XVI.14, *a*) ; (2) comportament elastoplastic, cînd $3 < j < 5$, (fig. XVI.14, *b*) ; (3) comportament elastic, cînd $j > 5$, (fig. XVI.14, *c*).

Criteriul lui Griffith pleacă de la realitatea că roca este neomogenă, neomogenitate materializată prin prezența microfisurilor și a fisurilor în structura ei. Prezența microfisurilor are drept efect concentrări de tensiune pe conturul lor. *Griffith* a presupus microfisuri de formă eliptică (fig. XVI.15) și a stabilit criteriul de rupere, în sensul că ruperea se produce :

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 8\,\sigma_t(\sigma_1 + \sigma_3) \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3\,\sigma_3 > 0 \qquad (1.38)$$

$$\sigma_3 = -\sigma_t \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3\,\sigma_3 < 0 \qquad (1.39)$$

și a cărui prezentare grafică este redată în fig. XVI.16 liniară (dreapta ABC : $\sigma_3 = -\sigma_t$ pentru $-\sigma_t < \sigma_1 < 3\,\sigma_t$ și parabolică (porțiunea CDE) conform relației (1.38) și care intersectează porțiunea liniară în punctul C ($3\,\sigma_t$; σ_t). Parabola completă, relația (1.38), trece prin origine (fig. XVI.16). Cînd $\sigma_3 = 0$, cazul compresiunii monoaxiale, $\sigma_1 = 8\,\sigma_t$ și deci rezistența de rupere la compresiune monoaxială este $\sigma_c = 8\,\sigma_t$. Prognozarea dată

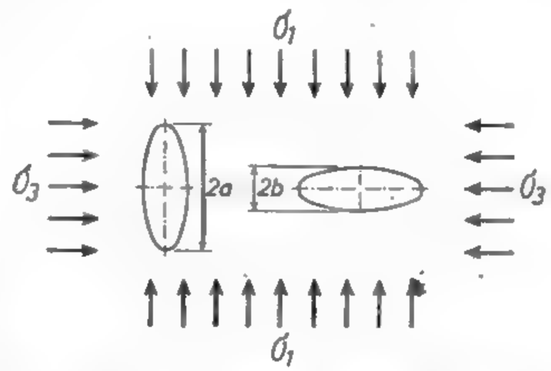


Fig. XVI.15. Fisuri de formă eliptică.

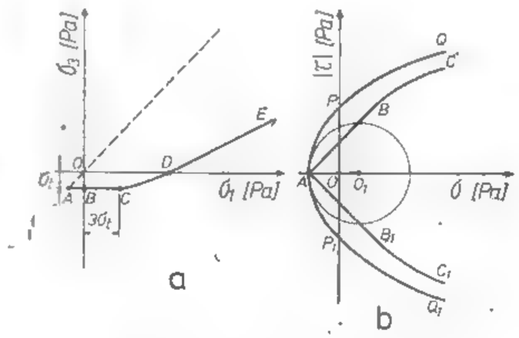


Fig. XVI.16. Criteriul de rupere Griffitz : *a* — liniar ; *b* — parabolic.

a rezistenței la compresiune este utilizabilă, dar practica ne relevă că valoric ea este de multe ori mai mare. În contextul teoriei *cercului lui Mohr*, *criteriul lui Griffith* devine :

$$\tau_m^2 = 4\,\sigma_t \cdot \sigma_m \quad \text{dacă} \quad 2\sigma_m > \tau_m \qquad (1.40)$$

$$\tau_m = \sigma_m + \sigma_t \quad \text{dacă} \quad 2\sigma_m < \tau_m \qquad (1.41)$$

reprezentat grafic în fig. XVI.16 (prin dreapta AB cu înclinarea de 45° pentru $-\sigma_t < \sigma_m < \sigma_t$ și porțiunea parabolică BC pentru $\sigma_m < \sigma_t$). Cercurile *Mohr* pentru segmentul de dreaptă AB trec prin punctul A. Determinarea înfășurătorii *Mohr* pentru punctele care descriu parabola BC se realizează prin găsirea înfășurătorii cercurilor de centru σ_m și 0, și rază τ_m dată de relația (1.40), cercuri a căror ecuație este de forma :

$$f(\sigma_m) = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - \tau_m^2 = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - 4\,\sigma_{tm} = 0 \qquad (1.42)$$

Eliminînd pe σ_m între ecuațiile sistemului :

$$f(\sigma_m) = 0 \qquad (1.43)$$

$$\frac{\partial f(\sigma_m)}{\partial \sigma_m} = 0$$

se obține : $\sigma - \sigma_m + 2\,\sigma_t = 0$ care, combinată cu relația (1.42), conduce la înfășurătoarea de forma : $\tau^2 = 4\sigma_t(\sigma + \sigma_t)$ ce definește parabola ATP trecînd prin punctul A, expresie grafică a *criteriului lui Griffith*. Analizînd cele două moduri de rupere : casant și ductil

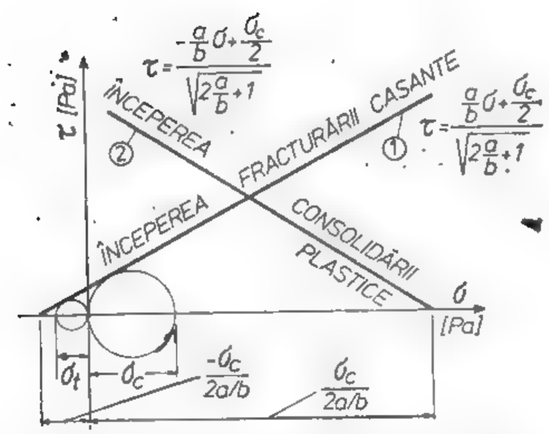


Fig. XVI.17. Expresiile de rupere a înfășurătorilor Mohr de tip ductil și casant.

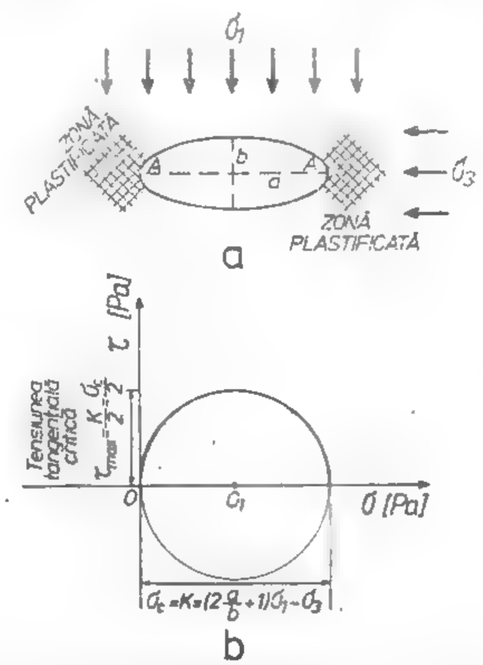


Fig. XVI.18. Redarea grafică a începerii ruperii plastice.

sau plastic, s-au stabilit atît expresiile *înfășurătorilor Mohr* pentru ruperea casantă și ruperea plastică (fig. XVI.17), cît și redarea grafică și analitică (fig. XVI.18) a începerii ruperii plastice. O generalizare logică a *criteriului lui Griffith* (în spațiu tridimensional) conduce la presupunerea că suprafața de rupere are forma unui paraboloid de revoluție

cu axul $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ și a cărei ecuație este : $\tau_{oct}^2 = 8\ \sigma_t \cdot \sigma_{oct}$, ca rezultat al rotației parabolei din fig. XVI.19 de ecuație $y^2 = 4bx$. Se pare că această teorie este în concordanță bună cu rezultatele experimentale, deoarece în acest caz rezultă că $\sigma_c = 12\sigma$.

După prezentarea criteriilor, problema care se pune este aceea de a vedea care dintre ele trebuie preferat. Răspunsul este greu de dat atîta timp cît nu vor exista sufi-

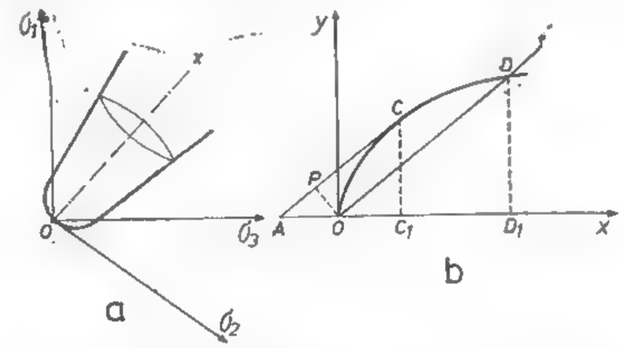


Fig. XVI.19. Criteriul de rupere a lui Griffith generalizat.

ciente date asupra proprietăților mecanice ale rocilor. Există totuși două deosebiri principale între ipotezele teoretice : (1) *criteriul Coulomb* prezice o variație liniară a lui σ_1 cu σ_3 pe cînd *Griffith* una parabolică. Nici una din afirmații nu este reală și expresia generalizată a teoriei lui *Griffith* este mai plauzibilă ($\sigma_1 = \sigma_c + b\,\sigma_3^m$); (2) *criteriile Coulomb, Mohr, Griffith* susțin că efortul intermediar σ_2 nu are efect asupra rezistenței rocii. Numai cel generalizat a lui *Griffith* acceptă un asemenea efect.

2. METODE EXPERIMENTALE PENTRU CARACTERIZAREA ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE

2.1. RECOLTAREA ȘI PRELEVAREA PROBELOR DE ROCI

Probele de rocă trebuie să reprezinte cît mai fidel, din punct de vedere heterogen, masivul studiat. Luarea de probe, eșantionarea, trebuie să fie reală, exactă și specifică problemei urmărite. Ca urmare a acestui fapt operația de colectare trebuie să fie întotdeauna precedată de o serie de observații, determinări și studii referitoare la litologia masivului, la cunoașterea proprietăților geologice și de legătură create în timp de fenomenele geotectonice : structura, textura, compoziția mineralogică, natura matricei sau a materialului de cimentare, gradul de alterare, heterotropia și anizotropia. Toate acestea trebuie marcate pe documentația grafică minieră. Foarte adesea modificările în culoarea rocii ne ajută la delimitarea directă a unor zone diferite. Prezența clivajelor, a fisurilor,

a crăpăturilor și a altor discontinuități se impun a fi luate în considerare în momentul colectării și notate. Precizăm că proprietățile rocilor variază extrem de mult în zona regiunilor faliate, a cutelor etc. În mod obișnuit probele sînt colectate sub forma de blocuri sau carote. Blocurile sînt colectate fie prin tăiere, fie prin intermediul perforării de găuri secante. Nu se admite o colectare de blocuri din roca excavată. Colectarea necesită foarte multă atenție, în sensul că blocurile colectate trebuie să includă la scara respectivă inerentele defecte structurale, plane de slăbire, de heterogenitate etc. În final probele orientate și colectate se parafinează imediat după extragerea din masiv, numerotîndu-se și etichetîndu-se în vederea păstrării tuturor caracteristicilor care se pot modifica odată cu schimbarea condițiilor înconjurătoare. În timpul transportului, probele nu trebuie supuse unor lovituri sau vibrații excesive. Depozitarea lor pînă la prelucrare se va face în condiții adecvate și care să nu le afecteze cu nimic integritatea fizică și mecanică.

2.2. CARACTERISTICI FIZICE

Rocile și substanțele minerale utile, din punct de vedere fizic, sînt sisteme trifazice constituite dintr-un amestec de materie solidă, apă și gaze. Cunoașterea stării fizice a rocilor și a influenței acesteia asupra activității minere se poate realiza numai prin determinarea unor caracteristici fizice. Dintr-o gamă largă de proprietăți fizice pe care o oferă literatura de specialitate se impune cunoașterea proprietăților de densitate și a celor care caracterizează roca ca un corp complex — trifazic — atît ca compoziție cît și construcție.

Proprietățile fizice ce caracterizează densitatea rocilor și care se manifestă ca rezultat al forțelor gravitaționale se pot diferenția în: (1) *gravitaționale propriu-zise*, care includ greutatea specifică (γ); greutatea specifică aparentă sau volumetrică (γ_a) și (2) *structurale*, care includ: analiza granulometrică; masa specifică (ρ); masa volumetrică sau densitatea (ρ_a); porozitatea (n); cifra porilor (e).

Greutatea specifică (γ) este definită ca fiind greutatea unității de volum a fazei solide a rocii sau substanței minerale utile. Valoric se determină pe cale de laborator, prin metoda picnometrului (fig. XVI.20), folosind relația experimentală:

$$\gamma = \frac{(G_2 - G) \cdot \gamma_w}{(G_1 - G) - (G_3 - G_2)} \quad [\mathrm{N/m^3}] \qquad (2.1)$$

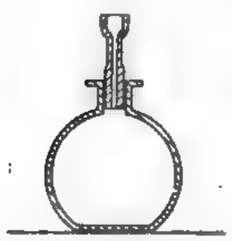


Fig. XVI. 20. Picnometru.

în care: G este greutatea picnometrului gol și uscat;
G_1 — greutatea picnometrului plin cu apă distilată pînă la reper;
G_2 — greutatea picnometrului cu material;
G_3 — greutatea picnometrului cu material și apă distilată pînă la reper după fierbere și răcire.
Valorile greutății specifice a rocilor în raport cu mineralele constituente variază de obicei între limitele $(1{,}5-5) \cdot 10^4$ N/m³.

Greutatea specifică aparentă (γ_a) este definită ca fiind greutatea unității de volum aparent al rocii sau substanței minerale utile. În laborator se determină, în general, prin metoda parafinării, folosind relația experimentală:

$$\gamma_a = \frac{G \cdot \gamma_w \cdot \gamma_p}{\gamma_p(G_1 - G_2) - \gamma_w(G_1 - G)} \quad [\mathrm{N/m^3}] \qquad (2.2)$$

în care: G este greutatea probei de rocă cîntărită în aer;
G_1 — greutatea probei parafinate cîntărită în aer;
G_2 — greutatea probei parafinată și cîntărită în apă;
γ_p — greutatea specifică aparentă a parafinei, $(0{,}87-0{,}92) \cdot 10^4$ N/m³;
γ_w — greutatea specifică aparentă a apei ($1{,}00 \cdot 10^4$ N/m³), sau utilizînd, procedee în funcție de natura rocilor și substanțelor minerale utile, (tabelul XVI.3). Astăzi se folosește pe scară tot mai largă *metoda modificării fasciculului impus* sau *gamma-gamma*. Este o proprietate calitativ-cantitativă.

Tabelul XVI.3. Procedee de determinare a greutății volumetrice

DOMENIUL DE UTILIZARE		DENUMIREA PROCEDEULUI	ILUSTRAREA GRAFICĂ A PRINCIPIULUI DE DETERMINARE UTILIZAT DE PROCEDEU	RELAȚIA ANALITICĂ UTILIZATĂ
Roci clastice (c=0)		Determinări directe prin cîntărire (G) și măsurare (V)	Cilindru gradat; Nisip V.; G; Nisip de cîntărit	$\gamma_a = \frac{G}{V}$ [N/m³] G - greutatea rocii clastice determinată prin cîntărire; V - volumul total măsurat cu cilindrul gradat
Roci coezive	Roci mai	Procedeul ștanței	Mînerul ștanței; Probă de rocă; Corpul ștanței; Cuțitul ștanței; $G_s + G_R = G_t$; Probă de rocă; Corpul ștanței	$\gamma_a = \frac{G_t - G_s}{V}$ [N/m³] G_s - greutatea corpului ștanței; G_t - greutatea corpului ștanței cu rocă; V - volumul interior al ștanței egal cu volumul total al probei
Roci coezive	Roci semistîncoase	Determinarea dimensiunilor liniare	a_1, a_2, a_3, a_4; b_1, b_2, b_3, b_4; h_1, h_2, h_3, h_4; d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6	$\gamma_a = \frac{G_t\left(1+\frac{W_a}{100}\right)}{V}$ [N/m³] $V = a \cdot b \cdot h$ (prismă) $a = 0{,}25(a_1+a_2+a_3+a_4)$; $b = 0{,}25(b_1+b_2+b_3+b_4)$; $h = 0{,}25(h_1+h_2+h_3+h_4)$; $V = \frac{\pi d^2}{4} h$ (cilindru) $d = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} d_i$; $h = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} h_i$

Drept indicator calitativ redă informații referitoare la gradul de alterare a rocilor, în sensul descreșterii sale pentru unul și același tip de rocă cu creșterea alterării. Cantitativ este totdeauna mai mică decît greutatea specifică.

Compoziția granulometrică. Roca sau substanța minerală utilă, structural, nu este niciodată omogenă. Componentul solid este format din granule de diferite mărimi, înconjurate de goluri și ciment de legătură. Mărimea granulelor variază între limite foarte largi — de la granule coloidale pînă la mărimea unor grohotișuri. Mărimea și prezența lor procentuală influențează mult comportarea rocilor. Avînd în vedere acest fapt, este necesară stabilirea repartizării cantitative (procentuale) pe dimensiuni a particulelor componente ale acestora. Un asemenea deziderat se poate realiza prin *analiza granulometrică*, adică determinarea repartizării procentuale (cantitative) pe dimensiuni a particulelor componente ale unei roci. În funcție de natura rocilor și de ordinul de mărime a fragmentelor acestora, analiza se poate realiza prin mai multe metode (tabelul XVI.4). Rezultatele obținute în urma analizei granulometrice sînt prelucrate și interpretate cu ajutorul diverselor diagrame: histograme, curbe de frecvență, curbe de probabilitate etc. (fig. XVI.21). Dintre aceste reprezentări, des utilizate sînt *histogramele* și *curbele granuol-*

Tabelul XVI.4

Metode utilizate pentru studiul compoziției granulometrice a rocilor

Principiul	Denumirea metodei de analiză	Caracterizarea și domeniul de utilizare a metodei
0	1	2
Cernerii	Cernerea clasică	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice, care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente). Poate separa granule cu un diametru minim de pînă la 40 μ.
	Cernerea ultra-fină în domeniul umed	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente), dar pentru particule cu diametrul cuprins între 40μ — 1 μ și într-un mediu umed constituit din lichide cu anumite caracteristici de densitate, vîscozitate și tensiune superficială (text).
Levigării	Metoda elutriatorului de diferite tipuri (Banco etc.)	Se pot aplica numai pentru un domeniu bine stabilit și anume: diametrul granulelor nu trebuie să aibă un diametru mai mic de 5 μ deoarece apar perturbări de natură browniană; toate cele trei dimensiuni ale granulelor să fie aproximativ egale
În curent de aer	Metoda flurometrelor	Același domeniu de aplicare ca și al elutriatoarelor. Există și procedee combinate cu o centrifugare, caz în care se elimină unele inconveniente ale procedeelor simple prin levigație sau în curent de aer.

Tabelul XVI.4 (continuare)

0	1	2
Sedimentării	Metoda de sedimentare clasică (pipeta *Andreosen*, sedimentometrul *Prof*, vasul lui *Boyaucos* etc.)	Domeniul lor de aplicare pentru granule cu diametrul cuprins între 40μ — 2 μ. Toate variantele sedimentării clasice prezintă inconvenientul de a fi lente, puțin precise și false totodată pentru granulele foarte fine (< 2 μ) prin fenomenele de adsorbție, mișcarea browniană, orientarea granulelor care apar în timpul încercărilor.
	Metode de sedimentare combinate	S-a mărit domeniul de aplicare al sedimentării pînă la granule cu dimensiunea de 0,25 μ, prin înlocuirea acțiunii accelerației gravitaționale cu accelerația centrifugală.
Optic Electric Laserului etc.	1. Metoda microscopiei clasice 2. Metoda microscopiei televizate 3. Metode ale laserului etc.	Asemenea metode se pot aplica pentru orice tipuri de rocă și pentru granulometrii corespunzătoare, de fapt mărimilor pe care le au acestea în componența rocilor și substanțelor minerale utile. Ele se mai numesc și *metode directe*. Sînt de precizie extrem de mare și rapide. Aplicabilitatea acestor metode nu este limitată.

metrice propriu-zise, deoarece alura și raportul ce există între ele conduc la o caracterizare a rocii studiate. În cazul acestor reprezentări grafice, pe abscisă se trece diametrul particulelor, în ordine descrescătoare și într-o scară logaritmică, iar pe ordonată, procentele în greutate a diverselor fracțiuni. Histograma redă modul de repartizare, pe dimensiuni, a granulelor materialului studiat. Ordonata maximă a histogramei indică greutatea procentuală a granulelor cu dimensiunile cele mai frecvente. Curba granulometrică este curba integrală a histogramei, avînd un punct de inflexiune în dreptul abscisei pentru care histograma prezintă un maxim. Orice ordonată a acestei curbe reprezintă cantitatea procentuală de granule cu diametrul egal sau mai mic decît diametrul din dreptul ordonatei respective. Alura, continuitatea histogramei și a curbelor granulometrice conduc la noțiunea de *roci gradulate* sau *negradulate*. Înclinarea curbei granulometrice dă indicații asupra raportului în care se găsesc mărimile particulelor. Numeric, uniformitatea sau neuniformitatea materialelor se exprimă prin *coeficientul de uniformitate* sau *neuniformitate*:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \qquad (2.3)$$

unde : d_{10} este diametrul efectiv corespunzător la 10% din greutatea totală a materialului ;
d_{60} — diametrul corespunzător la 60% din greutatea totală a materialului. Granula cu diametrul efectiv (d_{10}) este denumită *granulă eficace* și ea caracterizează permeabilitatea, capilaritatea și fenomenul de filtrare a materialului, în sensul că un material ideal

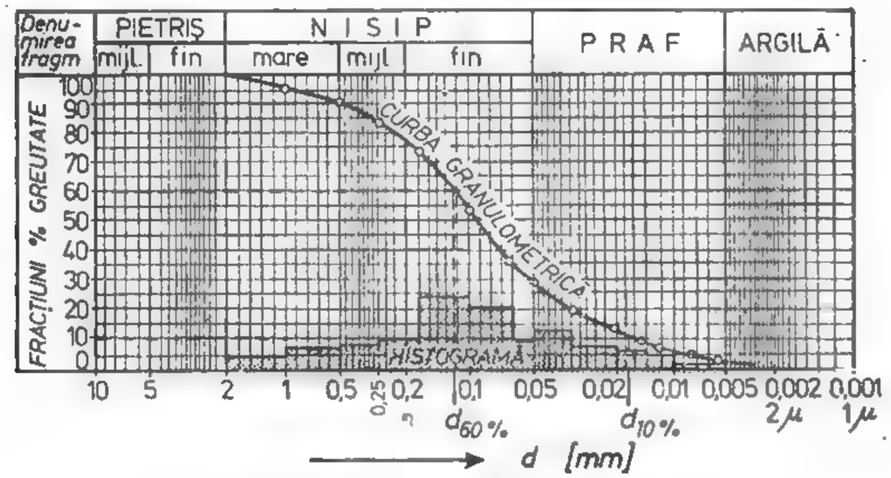


Fig. XVI.21. Curba granulometrică.

avînd toate granulele de mărimea celei eficace are aceeași caracteristici de permeabilitate, capilaritate, filtrare ca și materialul real pentru care s-a determinat diametrul efectiv respectiv.

După valoarea coeficientului de neuniformitate, rocile se clasifică conform tabelului XVI.5.

Tabelul VXI.5

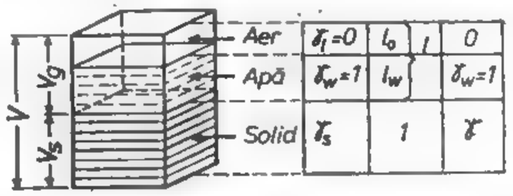
Clasificarea rocilor funcție de coeficientul de neuniformitate

Valoarea coeficientului de neuniformitate, U	Caracterizarea rocilor
$U < 5$	foarte uniforme
$5 < U < 15$	uniformitate medie
$U > 15$	foarte neuniforme

Porozitatea (n). Orice solid care conține goluri sau cavități (interstiții, pori, fisuri, caverne) legate sau nu între ele, distribuite regulat sau întîmplător, poate fi numit *mediu* sau *material poros* dacă acestea se găsesc relativ frecvent în interiorul lui.

Golurile interioare poartă numele de *interstiții, spații poroase* sau simplu *pori*. Porii sînt distribuiți oricum în materialul poros și pot fi sau nu legați între ei. Spațiul poros integral, cu sau fără legături, se numește *spațiu poros total* și este carcacterizat de un volum total al golurilor (V_{gt}). Spațiul interconectat se numește *spațiu poros efectiv* și este caracterizat de un volum efectiv al golurilor (V_{ge}). Rocile și substanțele minerale

Fig. XVI.22. Definirea porozității și a indicelui porilor.



utile sînt medii poroase naturale. Porozitatea (n) este proprietatea ce caracterizează, ca și medii poroase, rocile și substanțele minerale utile. Ea este definită (fig. XVI.22) de volumul total al golurilor din unitatea de volum a rocii, fiind reprezentată de raportul dintre dintre volumul golurilor (V_g) și volumul total (V) :

$$n = \frac{V_g}{V} \tag{2.4}$$

Porozitatea este o mărime adimensională și ca atare se exprimă în fracțiuni ale unității sau în procente. De modul cum apare în roci , porozitatea poate fi de diferite tipuri : intergranulară (aceea dintre granulele de siliciu) ; intercristalină (între cristalele de calcit, dolomit) ; de soluție sau disolvare ; de fractură ; cavernoasă. Noțiunea de porozitate include atît porii din rocile granulare (porozitate interstițială cît și fisurile și golurile din rocile coezive (porozitate fisurată).

În contextul definirii mediului poros (total sau efectiv), porozitatea rocilor și a substanțelor minerale utile se poate clasifica în : *totală* (n_t) sau aparentă, caz în care volumul golurilor include totalitatea porilor interconectați sau nu, existenți în mediul considerat și *efectivă* (n_e) sau reală, caz în care volumul golurilor include numai pori care sînt interconectați în mediul considerat. Deci :

$$n_t = \frac{V_{gt}}{V}; \qquad n_e = \frac{V_{ge}}{V} \tag{2.5}$$

Porozitatea efectivă caracterizează roca prin faptul că este acea porozitate prin care apa se poate deplasa sub acțiunea forțelor gravitaționale. Această caracteristică prezintă un mare interes din punct de vedere hidrogeologic și cantitativ corespunde *coeficientului capacității de cedare a apei de către rocă* (C). Valoarea porozității efective depinde de compoziția mineralogică și granulometrică a rocii. Pe măsura micșorării granulometriei crește diferența dintre porozitatea totală și efectivă, ajungîndu-se ca la argile n să tindă către zero, adică aceste roci practic sînt impermeabile. Porozitatea totală se poate exprima cantitativ funcție de o serie de alte caracteristici fizice (tabelul XVI.6). În general, porozitatea are o influență deosebită asupra caracteristicilor mecanice (de rezistență, elastice și reologice) ale rocilor. Este utilizată în o serie de probleme legate de rezistența, stabilitatea rocilor, de infiltrare a apelor, gazelor, acumulărilor și eruptiilor de gaze, a exploziilor de rocă și gaze. Valoric, porozitatea totală variază în limite largi — de la părți ale unui procent pînă la 90% și mai mult. Este acceptată o clasificare a rocilor după porozitate (tabelul XVI.7).

Tabelul XVI.6

Expresiile porozității și ale cifrei porilor

Criteriul de exprimare	Expresia porozității, n	Expresia cifrei porilor, e
Funcție de greutatea specifică și aparentă	$n = \frac{V_g}{V}$; $V_g = V - V_s$ $n = \frac{V - V_s}{V} = \left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma}\right)$	$e = \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} - 1\right)$
Funcție de greutatea specifică, volumetrică și umiditatea W	$n = \left[1 - \frac{\gamma_a}{\gamma\left(1 + \frac{W}{100}\right)}\right]$	—
Funcție de cifra porilor respectiv de porozitate	$n = \frac{e}{1 + e}$	$e = \frac{n}{1 - n}$

Tabelul XVI.7

Clasificarea rocilor pe baza porozității

Caracterizarea rocii	Valoarea porozității [%]
Cu porozitate foarte mică	< 5
Cu porozitate mică	5 — 10
Cu porozitate medie	10 — 15
Cu porozitate ridicată	15 — 20
Cu porozitate foarte mare	> 20

Indicele porilor (e) sau **cifra porilor** reprezintă raportul dintre volumul golurilor (V_g), (fig. XVI.22) și volumul scheletului mineral sau real al rocii :

$$e = \frac{V_g}{V_s} \qquad (2.6)$$

Indicele porilor se poate determina și în funcție de o serie de caracteristici fizice (v. tabelul XVI.6). El prezintă o deosebită importanță în calculul tasărilor, a caracterizării rocilor în vederea utilizării lor pentru fundații etc. sens în care rocile pămîntoase sînt clasificate (tabelul XVI.8).

Tabelul XVI.8

Clasificarea rocilor după indicele porilor

Caracterizarea rocilor	Domeniul de varietate a indicelui porilor, e
Bune ca terenri pentru fundații	$e < 0,5$
Acceptabile pentru fundații	$0,5 < e < 1$
Necesită lucrări artificiale suplimentare de compactare	$e > 1$

Dintre proprietățile fizice ce caracterizează trifazic roca se menționează : umiditatea naturală (W) ; umiditatea la saturație (W_s) ; gradul de saturație (S) ; permeabilitatea rocilor ; limitele de consistență.

Umiditatea naturală (W) este raportul dintre cantitatea de apă pe care o conține roca în stare naturală (G_w) și greutatea scheletului mineral solid (G_s). Se determină atît pe cale de laborator cît și *in situ*. Pe cale de laborator se determină în baza relației experimentale :

$$W = \frac{G - G_2}{G_1 - G_2} \qquad (2.7)$$

unde : G este greutatea probei de rocă în stare naturală plus tara ;
G_1 — greutatea probei după uscare la 105°C plus tara ;
G_2 — greutatea tarei.

Umiditatea la saturație (W_s) reprezintă raportul dintre cantitatea maximă de apă ($w_{w.max.}$) și greutatea scheletului mineral al rocii. Ea caracterizează de fapt conținutul total de apă la saturarea completă a acesteia și mai poate fi denumită *capacitate totală de umiditate* a unei roci. În contextul unei asemenea noțiuni, des utilizate în domeniul studierii apelor subterane, a problemelor de asecare etc. se disting : *capacitatea de reținere* și *capacitatea de cedare a apei*, parametri ce exprimă proprietatea pe care o au rocile de a reține, respectiv de a ceda o anumită cantitate de apă în condiții naturale de lucru. Capacitatea de reținere include apa de natura higroscopică, apa legată molecular și o parte din apa capilară. Capacitatea de cedare se referă în genere la apa de natură gravitațională și sub formă de vapori, fiind dependentă de prezența porozității efective sau active a rocii. Deci, capacitatea de cedare a apei nu este o constantă ci variază cu durata drenării și în funcție de cantitatea de apă existentă în rocă. Astfel, în cazul rocilor saturate, la început

cedarea apei se produce cu viteză maximă, scăzînd apoi pînă la încetarea oricărei curgeri. O asemenea caracteristică este în funcție de:

— compoziția granulometrică (scade pe măsura micșorării mărimii granulelor componente), tabelul XVI.9;

Tabelul XVI.9

Variația capacității de cedare a apei funcție de granulometria rocilor clastice

Roca	Valoarea capacității de cedare a apei
Nisip grosier	0,25—0,35
Nisip mijlociu	0,17—0,21
Nisip fin	0,10—0,18
Nisip prăfos	0,05—0,10

— de structura, textura și gradul de fisurație a rocilor, depinzînd de densitatea de fisurație și gradul de deschidere al fisurilor.

Astfel rocile de tipul gnaisurilor, micașisturilor, caracterizate de o fisurație dezvoltată, dar de dimensiuni capilare, au capacitatea de reținere mare și o capacitate de cedare scăzută, pe cînd calcarele masive, granitele, granodioritele și în genere rocile cristaline, cu fisuri bine dezvoltate și pronunțat deschise, au o capacitate de reținere foarte redusă. În funcție de raportul dintre capacitatea de cedare și capacitatea de reținere, rocile saturate se împart în: *acviclude* — cele cu o capacitate de cedare nulă și *acvifere* — cele cu o anumită capacitate de cedare a apei.

Starea de saturație a unei roci poate fi caracterizată și prin ***gradul de saturație*** (S), adică:

$$S = \frac{W}{W_s} \tag{2.8}$$

În funcție de gradul de saturație rocile se pot clasifica conform tabelului XVI.10.

Tabelul XVI.10

Clasificarea rocilor funcție de gradul de saturație

Caracterizarea rocilor	Valoarea gradului de saturație
Uscate	$0 < S < 0,4$
Umede	$0,4 < S < 0,8$
Foarte umede	$0,8 < S < 1$
Saturate	$S = 1$

Permeabilitatea este proprietatea pe care o au rocile de a permite trecerea sau scurgerea apei (și a gazelor) prin ele. Estimarea acestei proprietăți poate fi exprimată valoric prin *coeficientul de permeabilitate* (k).

În condiții de laborator k se poate determina printr-o serie de metode, funcție de natura rocilor (tabelul XVI.11). În funcție de natura rocilor clastice sau coezive, permeabilitatea se manifestă în mod diferit, atît ca intensitate cît și ca fenomen.

Tabelul XVI.11

Metode de determinare a coeficientului de permeabilitate k

Natura rocilor	Metoda	Procedeul	Relațiile de calcul
Clastice	Cu gradient	Variabil	$k = 2,3 \frac{A_1}{A_2} \frac{l}{t} \lg \frac{h_i}{h_f}$
		Constant	$k = \frac{Q}{A \cdot i \cdot t}$
Semistîncoase și stîncoase	Percolării	Longitudinale	$k = \frac{QL}{p \cdot A}$ sau $k = \frac{V \cdot L}{A \cdot p \cdot t}$
		Radiale ↗ divergentă	$k = \frac{Q}{A \cdot S}$
		Radiale ↘ convergentă	$k = \frac{Q}{2\pi L \cdot p} \cdot \lg \frac{R_2}{R_1}$

Semnificații: A_1 și A_2 — secțiunea cilindrului gradat, respectiv a probei; l — lungimea probei; h_i; h_f — înălțimea inițială și finală a apei în cilindru; Q — debitul de apă; i — gradientul hidraulic; p — presiunea de lucru; V — volumul de apă ce trece prin probă în timpul t; L — lungimea epruvetei; R_1; R_2 — razele interioară și exterioară a epruvetei.

În mod concret, în cazul rocilor clastice, lipsite de coeziune, permeabilitatea se manifestă printr-un *proces de filtrare*; în cazul rocilor coezive, dar fisurate — printr-un *proces de fluație*, iar în cazul rocilor coezive nefisurate, caracterizate de o anumită porozitate reală — prin *coeficientul de permeabilitate propriu-zis*.

Tabelul XVI.12

Clasificarea rocilor funcţie de coeficienţii de filtrare şi permeabilitate

Grupa	Caracterizarea rocii	Coeficientul de filtrare, k_f pentru apă cu mineralizaţie redusă şi $t^0 = 20°C$		Coeficientul de permeabilitate k
		m/zi	cm/s	cm/s
I	*Roci cu permeabilitate foarte mare*: bolovănişuri, pietrişuri cu nisip grosier, calcare puternic fisurate, roci intens fisurate	100 – 1000 şi mai mare	0,12 – 1,16	$1,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-5}$
II	*Roci cu permeabilitate mare*: bolovănişuri şi pietrişuri colmatate cu nisip fin, nisipuri grosiere, roci fisurate	10 – 100	0,012 – 0,12	$1,2 \cdot 10^{-7} - 1,2 \cdot 10^{-6}$
III	*Roci permeabile*: bolovănişuri şi pietrişuri colmatate cu nisip fin şi parţial cu argilă, nisipuri mijlocii şi fine, roci puţin fisurate.	1 – 10	$1,2 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-8} - 1,2 \cdot 10^{-7}$
IV	*Roci slab permeabile*: nisipuri fine, nisipuri argiloase, roci cu fisuraţie fină, loessuri.	0,1 – 1	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-9} - 1,2 \cdot 10^{-8}$
V	*Roci foarte slab permeabile*: argile nisipoase, prafuri, roci foarte slab fisurate	0,001 – 0,1	$1,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-10} - 1,2 \cdot 10^{-9}$
VI	*Roci practic impermeabile*: argile, marne, roci masive	< 0,001	$< 1,2 \cdot 10^{-6}$	$< 1,2 \cdot 10^{-11}$

Procesul de filtrare, în cazul rocilor clastice, este evidenţiat de capacitatea filtrantă a lor, exprimată prin *coeficientul de filtrare* (k_f), definit ca fiind viteza de filtrare a curentului acvifer la un gradient hidraulic unitar şi la o temperatură dată:

$$k_f = k \frac{\gamma_w}{\eta} \tag{2.9}$$

unde η este coeficientul de viscozitate dinamică.

În funcţie de coeficienţii de filtrare şi permeabilitate, rocile pot fi clasificate în 6 grupe (tabelul XVI.12). Se precizează că în cazul rocilor carstice şi fisurate, permeabilitatea se poate concretiza practic prin noţiunea de *absorbţie specifică* sau *capacitatea specifică de debitare* (q), determinată prin pompări experimentale şi exprimată în l/min pe denivelare unitară şi 1 m grosime de orizont acvifer deschis (tabelul XVI.13).

Tabelul XVI.13

Clasificarea rocilor fisurate funcţie de capacitatea de debitare

Clasa	Caracterizarea rocii	Valoarea capacităţii de debitare, q [l/min]
1	Roci practic impermeabile	< 0,001
2	Roci slab permeabile	0,001 – 0,01
3	Roci permeabile	0,01 – 0,1
4	Roci cu permeabilitate medie	0,1 – 1
5	Roci cu permeabilitate ridicată	1 – 10
6	Roci cu permeabilitate foarte mare	10 – 100
7	Roci cu permeabilitate excepţională	> 100

Limitele de consistenţă sînt caracteristice rocilor argiloase, argilo-marnoase şi celor predispuse alterărilor de natură chimică. Funcţie de cantitatea de apă liberă conţinută de asemenea roci, acestea se pot prezenta sub diferite stări de consistenţă — începînd

de la starea unui solid tare pînă la starea unui lichid vîscos (fig. XVI.23). Separația dintre cele patru stări (fig. XVI.23) a realizat-o *Atterberger* după anumite limite, (fig. XVI.23) :

— *limita superioară de plasticitate* sau *limita inferioară de curgere* (W_c), adică umiditatea W_c (fig. XVI.23) corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică în starea de curgere ;

— *limita inferioară de plasticitate* sau *limita de frămîntare* (W_f), adică umiditatea W_f corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică la starea unui corp semitare, (fig. XVI.23) ;

— *limita de contracție* (W_s), adică umiditatea W_s la punctul de trecere a rocii din starea semitare la starea unui corp tare.

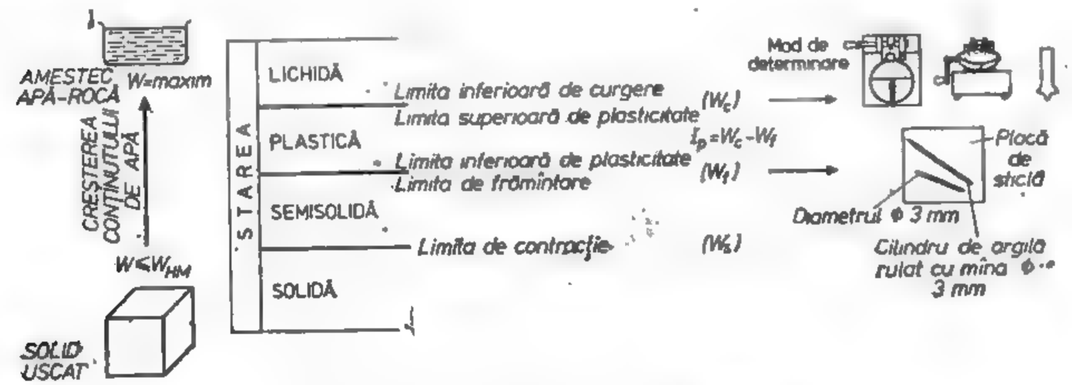


Fig. XVI.23. Limitele de consistență.

Intervalul dintre două limite consecutive definește zona conținutului de apă care corespunde unei stări determinate. Valoric, limitele se determină ca umidități pe probe de rocă constituite din fracțiuni cu o granulație ce trece prin sita de 0,42 mm și cu metodologii redate de literatura de specialitate. Din punct de vedere practic, pe baza *limitelor lui Atterberger* rocile se pot caracteriza prin o serie de indici (tabelul XVI.14). În funcție de

Tabelul XVI.14

Indici ce caracterizează rocile în funcție de limitele de consistență

Denumirea indicelui	Expresia analitică
Indice de plasticitate	$I_p = W_c - W_f$
Indice de consistență	$I_c = \frac{W_c - W}{W_c - W_f}$ pentru $W_c > W$ $I_c = \frac{W - W_c}{W_c - W_f}$ pentru $W > W_c$

Tabelul XVI.15

Clasificarea rocilor funcție de indicii de consistență

După indicele de plasticitate, I_p		După indicele de consistență, I_c		
Categoria rocii	Valoarea lui I_p	Categoria rocii	Valoarea indicelui I_c	Caracterizare
Nisipuri	$I_p \leq 1$	*Roci curgătoare*	$I_c = 0$	Nu se pot folosi pentru fundații — *instabile*
Roci argiloase:	$I_p > 1$	*Roci plastice curgătoare*	$0 < I_c < 0,25$	Nu se pot folosi pentru fundații — *instabile*
— nisipuri argiloase	$1 < I_p < 7$	*Roci moi, cu plasticitate redusă*	$0,25 < I_c < 0,5$	Tasări foarte mari — *instabile*
— prafuri	$7 < I_p < 17$			
— argile: slabe	$I_p > 17$ $17 < I_p < 30$	*Roci consistente*	$0,5 < I_c < 0,75$	Tasări mari — *stabilitate foarte mică*
obișnuite	$30 < I_p < 60$	*Roci vîrtoase*	$0,75 < I_c < 1$	Tasări medii — *stabilitate mică*
grase	$60 < I_p < 100$	*Roci tari*	$I_c = 1$	Tasări mici — *stabile*
foarte grase	$I_p > 100$	*Roci foarte tari*	$I_c > 1$	Nu prezintă tasări — *foarte stabile*

acești indici se pot clasifica conform tabelului XVI.15. În domeniul mineritului, în afara caracterizării rocii ca stare fizică, a comportamentului plastic al rocilor argiloase sau cu componenți argiloși etc., parametrii de consistență pot servi atît la stabilirea calității burajului (fig. XVI.24), cît și la alegerea materialului corespunzător pentru realizarea pulpelor necesare inundării focurilor subterane prin înnămolire. Calitățile ce trebuie să le aibă o argilă în scopurile precizate sînt redate în tabelul XVI.16.

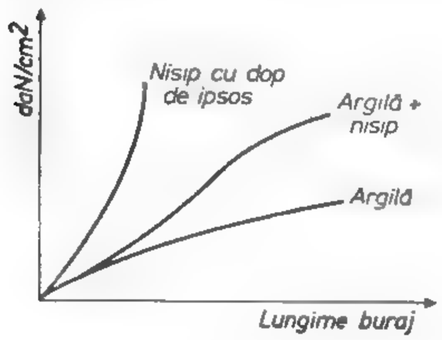


Fig. XVI.24. Rezistența la azvîrlire din gaura de mină a burajului din amestecuri diferite.

Tabelul XVI.16

Calități pe care trebuie să le îndeplinească o argilă pentru buraj

Calitatea burajului	Calitatea pulpei la înnămolire
Argilă: $20 < W_c < 35$; $10 < I_p < 30$ rezistența la azvîrlire din gaura de mină 50 MP_a	Argilă nisipoasă: $\gamma = 2{,}45-2{,}8$ $\gamma_a = 1{,}72-1{,}94$ $W = 17-32$ $I_p = 6{,}6-24$

Obs.: Compoziția exactă și proprietățile materialului folosit la înnămolire se stabilesc funcție de natura zăcămîntului, condițiile geologice și petrografice ale rocilor înconjurătoare.

2.3. CARACTERISTICI MECANICE

Proprietatea pe care o au rocile și substanțele minerale utile supuse solicitării de a se opune acțiunii de distrugere a structurii lor și de a-și păstra, între anumite limite, forma geometrică se numește *rezistență*. Rezistența unei roci este o mărime variabilă a cărei modificare este determinată de factori ce depind de natura rocii, de orientarea și de direcțiile de solicitare, de viteza de solicitare și de durata solicitărilor.

Rezistența rocilor este caracterizată de o serie de proprietăți mecanice. Cele mai importante caracteristici mecanice de rezistență sînt : *rezistența de rupere la compresiune monoaxială* (σ_c) ; *rezistența de rupere la tracțiune* (σ_t) ; *rezistența de rupere la forfecare* (τ_f). Cele mai multe fenomene, probleme, din domeniul minier implică una sau alta din aceste proprietăți. Factorii care influențează rezultatele încercărilor sînt : caracteristicile echipamentului de încercare, măsurarea, mărimea epruvetelor și forma lor, pregătirea și realizarea suprafețelor după care se solicită epruvetele, vitezele de solicitare, temperatura și umiditatea. Astfel, din cauză că deformația de rupere a rocii este mică (circa 0,001—0,003 la tracțiune și de 0,002—0,025 la compresiune), instrumentele de măsură a deformațiilor trebuie să fie foarte sensibile. Asemenea instrumente sînt construite fie pe principiul mecanic (microcomparatoare cu precizia de 1/100—1/1000), optic, tensometric sau amplificare electronică. Ca echipamente de solicitare se folosesc mașinile universale de

Tabelul XVI.17

Forme de epruvete utilizate în determinarea caracteristicilor mecanice de rezistență, elastice, reologice

Grupa	Tipul de epruvete	Tipul solicitării
Regulate	Cuburi	Compresiune
	Prisme cu baza un pătrat	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Prisme cu baza un dreptunghi	Compresiune
	Cilindri	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Bare cu secțiunea transversală un pătrat	Încovoiere, tracțiune pentru roci
	Bare cu secțiunea transversală un dreptunghi	Cu rezistența la tracțiune mai mică decît rezistența adezivului
Neregulate	Aproximativ sferice De forma alungită	Compresiune pe cale directă Tracțiune, forfecare
	Bulgări cu contur neregulat	Consacasare statică, concasare dinamică
Speciale	Pișcot în diferite variante	La tracțiune pură
	Forme de tipul brichetelor	Compresiune după diferite direcții
	Forme de discuri, forme de șaibe	Tracțiune și forfecare

încercat construite pe principiul hidraulic, cu limite ale sarcinii dezvoltate ce poate varia între 0 și $3 \cdot 10^3$ kN sau mașinile universale de încercat de tip rigid acționate electronic (instalații inductive).

Epruvetele utilizate sînt de formă regulată, neregulată și speciale (tabelul XVI.17). Epruvetele de formă regulată sînt confecționate cel mai frecvent prin carotare la diametrul de 42 mm și tăiate apoi la un coeficient de svelțete λ, în funcție de tipul solicitării. Astfel, pentru încercarea la compresiune monoaxială se recomandă un $\lambda = 2$. Pentru încercarea la tracțiune, în funcție de procedeul folosit, se recomandă $\lambda = 1$ (în cazul procedeului brazilian $\lambda = 1$; în cazul comprimării cilindrilor sau a epruvetelor de formă prismatică după o generatoare $\lambda = 1-2{,}5$). Pentru solicitări la forfecare $\lambda = 1$, iar pentru încercările poliaxiale $\lambda = 2-3$.

Rezistența de rupere la compresiune monoaxială (σ_c) este definită ca fiind valoarea tensiunii de rupere a epruvetelor de rocă supuse solicitării la compresiune:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (2.10)$$

unde: F este forța aplicată;

A — suprafața de solicitare a epruvetei.

O serie de factori afectează valoarea acestei rezistențe: frecarea între platanele mașinii de încercat și suprafețele epruvetelor; geometria epruvetei (forma și efectul de scară); viteza de solicitare; condițiile înconjurătoare (umiditate, temperatură etc.). La încercare trebuie respectate condițiile date în tabelul XVI.18.

Dacă nu se iau în considerare factorii respectivi și influența lor și nu se respectă condițiile impuse de tabelul XVI.18, atunci rezultatele pot fi eronate și în mod virtual nefolositoare.

Rezistența de rupere la compresiune se determină pe cale directă și indirectă pe diferite forme de epruvete, în funcție de natura rocii, conform tabelului XVI.19. Între rezistența de rupere la compresiune determinată pe cale directă σ_c și aceea determinată pe cale indirectă există relația $\sigma_c = k \cdot \sigma_c$, unde k are valorile 0,08 pentru rocile casante și 0,15—0,19 pentru rocile cu un comportament ductil. Valoric, rezistența de rupere la compresiune monoaxială este situată între limite extrem de largi, adică de la circa 0,1 MPa (roci foarte slab cimentate) pînă la 500 MPa (roci de tipul bazaltelor, granitelor etc.).

Rezistența de rupere la tracțiune monoaxială (σ_t) este definită ca fiind valoarea tensiunii la rupere a epruvetelor de rocă supuse unor solicitări la tracțiune. Deci:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (2.11)$$

Încercarea la tracțiune pură se realizează pe epruvete de formă specială (tabelul XVI.20). Metoda prezintă dificultăți în ceea ce privește confecționarea epruvetelor, în sensul că este extrem de pretențioasă și anevoioasă. Totodată, datorită sistemului de prindere a epruvetelor, în punctele de contact rocă-sistem de prindere se nasc eforturi de forfecare care slăbesc epruveta și aceasta se va rupe după plane ce trec prin aceste puncte, afectînd astfel rezultatele încercării la tracțiune pură. În scopuri practice s-au creat metode indirecte de determinare (tabelul XVI.20) a rezistenței la tracțiune. Dintre acestea, uti-

Tabelul XVI.18

Condiții ce trebuie îndeplinite la prelucrarea epruvetelor de rocă pentru încercări

Încercare la compresiune	Încercare la tracțiune simplă	Încercare la forfecare simplă
1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare.	1. Pregătirea epruvetelor este aceeași ca și la compresiune, cu excepția că $\lambda > 2$.	1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare.
2. Coeficientul de svelțete $\lambda \geqslant 2$. Dacă $\lambda = 1$ atunci echivalentul rezistenței pentru $\lambda = 2$ se obține prin $(\sigma_c)_{\lambda=2} = 0{,}9(\sigma_c)_{\lambda=1}$.	2. Epruvetele se vor prinde de platane cu cimenturi de natură epoxi.	2. Coeficientul de svelțete $\lambda \geqslant 2{,}5$.
3. Planitatea de 0,02 mm, suprafețele perfect șlefuite.	3. Viteza de solicitate 0,1—0,5 [MPa/s]	3. Confecționarea epruvetelor în mod asemănător cu cele de la compresiune.
4. Perpendicularitatea suprafețelor pe generatoare cît mai bună, eroare de $\pm$ 1,0°.	*Observații* În cazul încercării braziliene, epruvetele din punct de vedere geometric se vor prelucra ca și la compresiune. Coeficientul $0{,}5 \leqslant \lambda \leqslant 1{,}0$. 4. Numărul minim de epruvete încercate este de 10 sau de preferat mai multe.	4. Viteza de solicitare între 0,1—1,0 [MPa/s]
5. Viteza de solicitare între 0,1—1,0 [MPa/s]		5. Numărul minim de epruvete încercate de minimum 3 și de preferință mai mare.
6. Se vor încerca minimum 10 epruvete pentru o rocă (de preferință mai multe)		

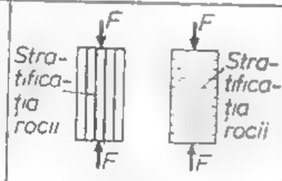
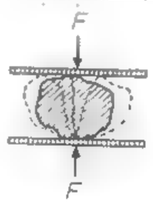
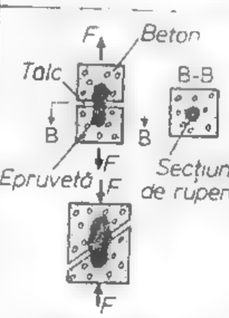
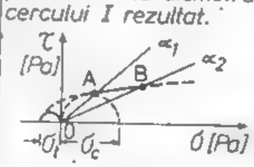
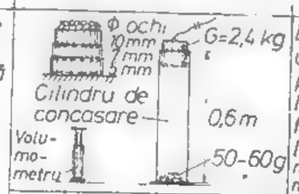
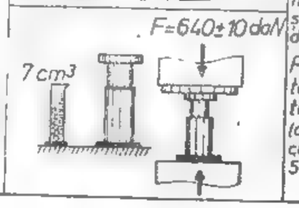
lizată în mod frecvent este *metoda braziliană* sau prin comprimare a epruvetelor în formă de disc respectiv cilindru, după generatoarele lor. Valoric este cea mai mică dintre rezistențele rocii.

Rezistența de rupere la forfecare monoaxială (τ_f) este tensiunea la rupere produsă de solicitarea la forfecare simplă aplicată pe un plan pe care forța normală este nulă, deci:

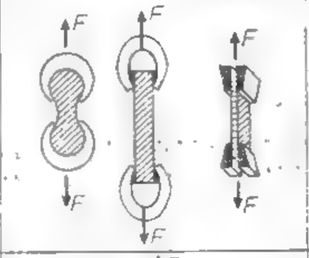
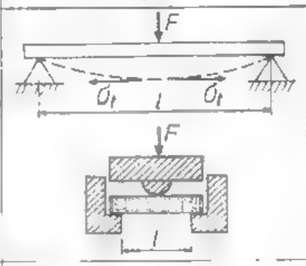
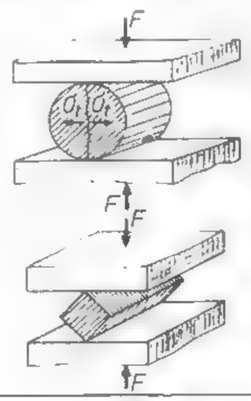
$$\tau_f = \frac{T}{A} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \text{ sau } [\mathrm{Pa}] \qquad (2.12)$$

unde T este forța de forfecare necesară producerii ruperii de-a lungul planului considerat. Pentru rocile semistîncoase și stîncoase procedeul cel mai răspîndit este *forfecarea simplă*

Tabelul XVI.19 Metode de determinare a rezistenței la compresiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ		PRINCIPIUL DE DETERMINARE	CARACTERIZAREA EPRUVETELOR FOLOSITE	RELAȚII DE DETERMINARE A REZISTENȚEI DE RUPERE LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ
Pe epruvete de formă geometrică regulată și neregulată	Pe epruvete de formă geometrică regulată supuse unei solicitări la compresiune		Cuburi; prisme; cilindri; utilizarea frecventă a formelor cilindrice cu dimensiuni: $1,5<\lambda\leq 3$	$\sigma_c=\frac{F}{A}$ [N/m²] sau [Pa]
	Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse unei solicitări la compresiune		Forma epruvetei: neregulată, cioplită aproximativ sferică, cu un volum de cca 100 cm³ (caz în care efectul de scară nu are influență asupra rezultatelor)	$\sigma_c'=\frac{F}{A}$, unde $A=\sqrt[3]{\frac{\pi}{6}V^2}=0,92\sqrt[3]{V^2}=\sqrt[3]{V^2}$; $\sigma_c'=F\left(\frac{1}{V}\right)^{\frac{2}{3}}=F\left(\frac{\gamma_a}{G}\right)^{\frac{2}{3}}$; $\sigma'=F\left(\frac{\gamma_a}{G}\right)^{0,67}$ [N/m²] sau [Pa]; G – greutatea epruvetei încercate
	Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse solicitărilor la tracțiune și forfecare, rezultate din care se determină grafo-analitic rezistența de rupere la compresiune		Epruvete de formă neregulată încastrate în calupuri de beton de formă regulată	Se folosesc relațiile înfășurătoarei de tip cicloidal. Rezistența la compresiune este diametrul cercului I rezultat.  $\sigma_t=\frac{F}{A}$; $\sigma_f=\frac{F}{A}$; $\tau_f=\frac{F}{A}$ A – suprafața determ. prin planimetrare sau metoda cîntăririi
	Pe epruvete de formă geometrică neregulată prin: Concasare dinamică		Epruvetele utilizate sînt probele colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni mai mari de 10 mm și o cantitate de cca. 40-60g)	$f=\frac{20n}{h}$ (n=3 sau 5) h – înălțimea citită pe volumometru corespunzătoare lui n; n – numărul de căderi ale greutății G;
	Concasare statică		Probe colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni cuprinse între 5-7 mm)	$f=\frac{C_g-2}{7,5}$, unde: $C_g=92/q$; $q=100\cdot G_2/G_1$ [%]; 92 – efortul specific maxim produs în instalația de sfărîmare-concasare [N/m²]; q – cantit. procentuală de praf, C_g – coeficient de rezistență

Tabelul XVI.20 Metode de determinare a rezistenței de rupere la tracțiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE		PROCEDEUL DE DETERMINARE	REPREZENTAREA GRAFICĂ	RELAȚIA DE CALCUL
Pe epruvete de formă geometrică regulată și specială	Încercări prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune a epruvetelor de formă specială: - pișcot; - bară; - placă		$\sigma_t=\frac{F}{A}$ [N/m²] sau [Pa]; F – forța de solicitare; A – secțiunea transversală a epruvetei
	Încercări prin solicitare la încovoiere	Solicitarea la încovoiere a epruvetelor de formă: - prismatică, - cilindrică; - discoidală		$\sigma_t=-\frac{3(1+\mu)F}{2\pi h}\left[\frac{1}{1+\mu}+\log_e\frac{r_d}{r_p}-\frac{1-\mu}{1+\mu}\frac{r_p^2}{4r_d^2}\right]$
	Încercări prin solicitare la compresiune	Procedeul brazilian: - Compresiunea diametrală a cilindrilor; - Compresiunea după diagonală a prismelor		$\sigma_t=\frac{2F}{\pi dh}$ [N/m²] sau [Pa]
Pe epruvete de formă neregulată	Încercarea prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune		$\sigma_t=\frac{F}{A}$ [N/m²] sau [Pa]

cu ajutorul matrițelor oblice (fig. XVI.25). Procedeul se poate generaliza pentru orice forme de epruvete—regulate și neregulate. Încercarea se realizează la diferite unghiuri, în raport cu direcția de solicitare la compresiune. Relațiile de calcul sînt :

$$\sigma_f = \frac{F}{A} \cdot \sin \alpha$$

$$[N/m^2] \text{ sau } [Pa] \qquad (2.13)$$

$$\tau_f = \frac{F}{d \cdot h} \cos \cdot \alpha$$

În cazul rocilor clastice, a rocilor slab coezive (pămînturi, roci argiloase etc.), determinarea rezistenței la forfecare se realizează prin *procedeul casetelor de forfecare* (fig. XI.26) Rezistența la forfecare a rocilor se situează între limitele : $\sigma_c > \tau_f > \sigma_t$.

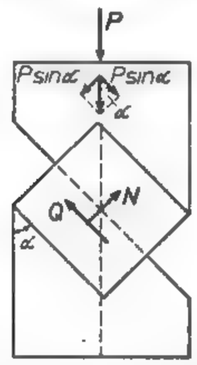


Fig. XVI.25. Matrițe de forfecare.

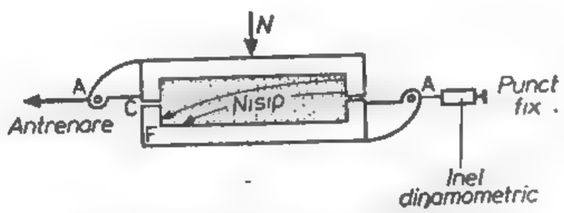


Fig. XVI.26. Casete de forfecare.

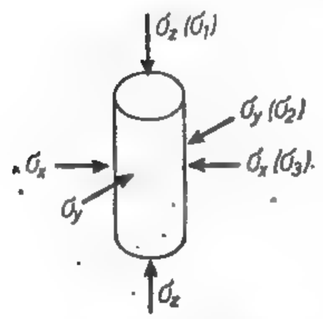


Fig. XVI.27. Definirea solicitării triaxiale.

Rezistența rocilor la încercări poliaxiale. Încercările la solicitări statice poliaxiale sînt de o extremă importanță în stabilirea unui comportament real, heterogen al rocilor. Dintre încercările poliaxiale, importantă pentru domeniul minier este solicitarea triaxială, a cărei definire rezultă din fig. XVI.27. În general, ea poate fi realizată prin diferite tipuri de solicitări: compresiune, tracțiune, forfecare, răsucire etc. Indiferent de tipul de solicitare, încercarea triaxială se poate diferenția în :

— încercare *cubică*, cînd $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ sau $(\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z)$;

— încercare *cilindrică* sau *axial simetrică*, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$, respectiv $(\sigma_x = \sigma_y \neq \sigma_z)$;

— încercare *izotropă* sau *hidrostatică*, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, respectiv $(\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z)$,

Echipamentul necesar solicitării este redat schematic în fig. XVI.28. Practic cel mai ușor de realizat este încercarea de tip axial simetric. Epruveta, sub formă cilindrică, cu $\lambda = 2-3$, învelită într-o membrană de cauciuc, este introdusă într-o celulă triaxială (fig. XVI.29). În fluidul ce umple celula se creează o presiune hidrostatică $(\sigma_1 = \sigma_2)$, iar prin intermediul pistonului poate fi aplicată o forță ce creează efortul σ_3. Starea de

tensiune ce solicită epruveta este o rezultantă a : (1) tensorului sferic de tensiune $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1 = \sigma_2$ și (2) deviatorului de tensiune $|D_\sigma| = \sigma_3 - \sigma_1$. Încercarea se desfășoară în două etape : prima, în care se aplică tensorul sferic $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1$ și a doua etapă, în care se mărește continuu deviatorul $|D_\sigma|$, pînă ce are loc ruperea epruvetei. Elementele ce trebuie măsurate în timpul încercării sînt : deplasările și variațiile de volum ale epruvetei. Dintre tipurile de încercări precizate, tipul cubic oferă însă indiciile cele mai prețioase și reale referitoare la modul de deformare. Asemenea încercări întîmpină însă greutăți în ceea ce privește realizarea unor instalații corespunzătoare.

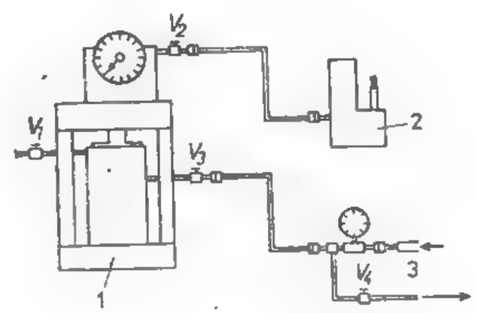


Fig. XVI.28. Echipamentul necesar solicitării triaxiale :

1 — presă hidraulică; *2*—pompă hidraulică pentru solicitarea axială; *3*—pompă hidraulică pentru solicitarea laterală.

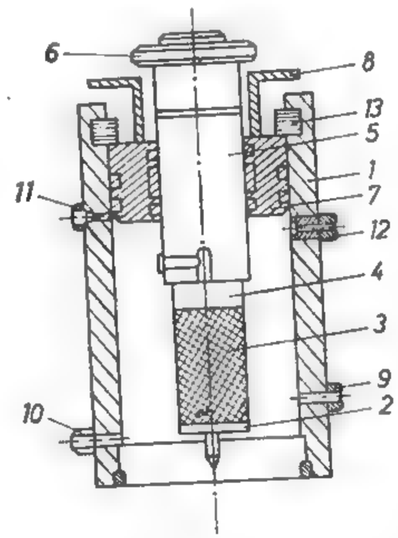


Fig. XVI.29. Celulă triaxială :

1 — cilindru; *2-4* — suport inferior și superior; *3*—eșantion de rocă; *5*—piston de solicitare; *6*—guler pentru delimitare; *7*—piston pentru etanșare; *8*—miner; *9-12*—orificii pentru legarea aparatului cu aparatura de control; *13*—inel de siguranță.

Coeziunea și unghiul de frecare interioară. Forța de legătură dintre particulele solide ale unei roci și care se opune la acțiunea de desprindere sau de alunecare produsă de solicitări exterioare se numește *coeziunea rocii* și se notează cu *c*. Ea poate fi reală și aparentă. Are dimensiunile unei tensiuni și se măsoară în N/m^2 sau Pa. *Unghiul de frecare interioară* este unghiul a cărui tangentă trigonometrică reprezintă coeficientul de frecare interioară dintre particulele rocii, adică $\mu_1 = \text{tg}\varphi$.

Cantitativ, coeziunea și unghiul de frecare interioară se determină experimental prin o serie de metode. Metodele de determinare s-au diversificat în funcție de tipul solicitării. Astfel, *metoda Mohr* (fig. XVI.30) și *metoda Winkel* utilizează, pentru determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, valorile rezistențelor la compresiune și la tracțiune monoaxială (σ_c și σ_t) (fig. XVI.31).

Încercarea la forfecare monoaxială, în baza criteriului de rupere a lui *Coulumb* efectuată la diferite unghiuri de forfecare (pentru roci stîncoase cu utilizarea matrițelor oblice), (fig. XVI.32) sau la diferite forțe normale N (pentru roci argiloase cu utilizarea casetelor orizontale sau verticale de forfecare), (fig. XVI.33) constituie un procedeu de determinare a coeziunii și a unghiului de frecare interioară.

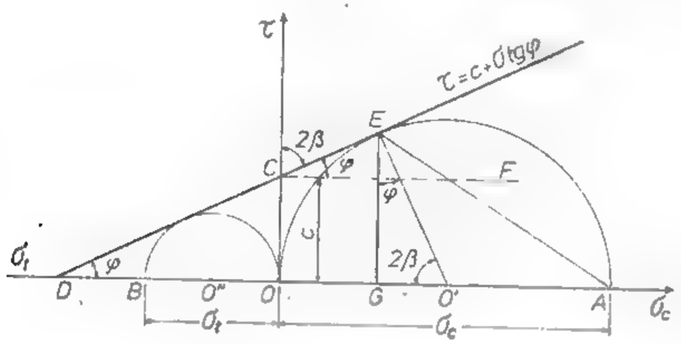


Fig. XVI.30. Metoda Mohr de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

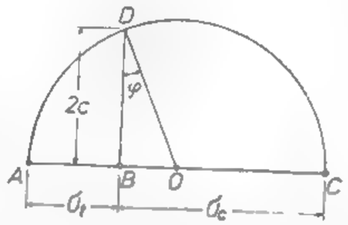


Fig. XVI.31. Metoda Winkel de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

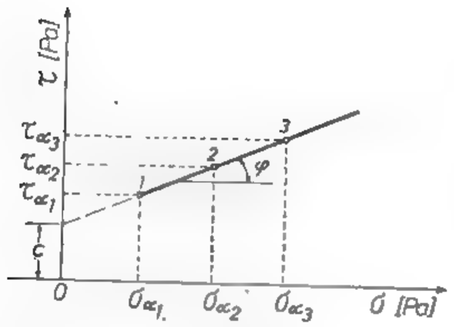


Fig. XVI.32. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare a rocilor stîncoase.

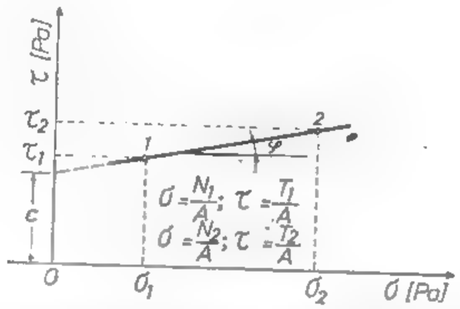


Fig. XVI.33. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare cu casete (roci moi).

Încercarea triaxială constituie și ea o metodologie de determinare a rezistenței rocii ce se finalizează prin determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, fie folosind criteriul de rupere *Mohr-Coulumb* (fig. XVI.34), fie utilizînd înfășurătoarea tip cicloidă (fig. XVI.35), fie cea parabolică (fig. XVI.36).

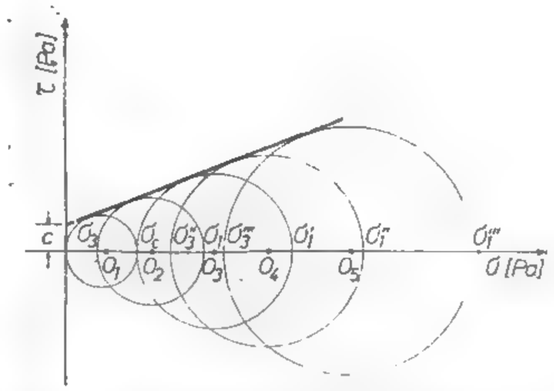


Fig. XVI.34. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin încercare triaxială utilizînd criteriul Coulomb-Mohr.

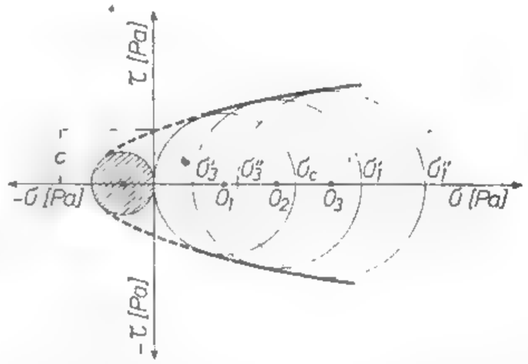


Fig. XVI.35. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizînd cicloida.

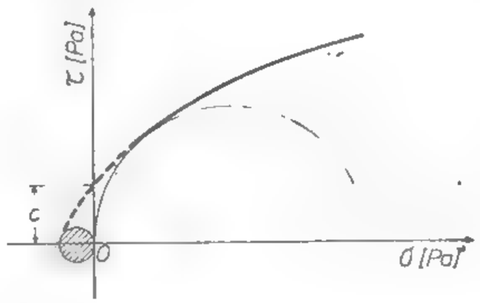


Fig. XVI.36. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizînd înfășurătoarea parabolică.

2.4. CARACTERISTICI ELASTICE

Indiferent de tipul rocii, fiecare, în cazul unei solicitări, prezintă un anumit comportament mai mult sau mai puțin elastic. Pentru un astfel de domeniu de solicitare $\sigma < \sigma_e$ (unde σ_e este limita comportamentului elastic), experiența confirmă posibilitatea aplicării legii fizice constitutive corespunzătoare mediilor ideal elastice — *legea lui Hooke*. Deci elasticitatea este o proprietate a rocilor în măsura în care acestea pot fi asimilate cu materialele ideale. Proprietățile ce caracterizează comportamentul elastic al rocilor sînt: curba caracteristică tensiune-deformare ($\sigma - \varepsilon$); efortul la limita elastică; modulul de elasticitate E; coeficientul (μ) sau constanta lui *Poisson* (m). Aceste caracteristici se pot determina atît prin solicitări statice cît și prin solicitări dinamice.

Curba tensiune-deformare constituie o evidențiere experimentală a comportamentului sub sarcină a rocilor, exprimată prin raportul ce există între tensiuni și deformații.

Prin aplicarea unui efort (forță pe unitatea de suprafață) asupra unei epruvete de rocă, aceasta se va deforma. Înainte de a analiza comportamentul la deformare a unui

material real (roca), se vor reda cîteva considerente teoretice referitoare la deformarea unui material idealizat sau ipotetic. Comportamentul la deformare rezultă din analiza curbei tensiune-deformare $\sigma - \varepsilon$. Diagrama $\sigma - \varepsilon$ din fig. XVI.37 corespunde unui material perfect elastic, adică acel material care respectă *legea lui Hooke* $\sigma = E \cdot \varepsilon$, unde constanta de proporționalitate E este *modulul lui Young* sau *modulul de elasticitate*. Nici un material real nu este perfect elastic ; cu toate acestea, rocile magmatice se apropie de un asemenea comportament.

Modelul mecanic pentru un astfel de comportament este un resort. Un material perfect plastic nu se va deforma dacă efortul ce îl solicită este mai mic decît σ_0. El se va deforma în mod permanent dacă $\sigma = \sigma_0$ și nu va suporta un efort dacă $\sigma > \sigma_0$ (fig. XVI.38 *a*). Modelul mecanic pentru un material perfect plastic este patina (fig. XVI. 38, *b*). Un material elasto-plastic este liniar-elastic pînă la o valoare a tensiunii $\sigma \leqslant \sigma_0$ și plastic pentru $\sigma = \sigma_0$ (fig. XVI.38, *c*). Modelul mecanic al unui astfel de comportament este un arc legat în serie cu o patină. Curba tensiune-deformare din fig. XVI.6 (cap. I) reprezintă un material care este liniar-elastic pînă la valoarea tensiunii $\sigma = \sigma_e$ (punctul *b*). Peste acest nivel $\sigma_1 > \sigma_e$ materialul este neelastic, adică deformația nu mai este proporțională cu efortul. Punctul *b* pînă la care deformațiile sînt proporționale cu eforturile, iar în momentul înlăturării efortului deformațiile se anulează sau aproape dispar se numește *punct elastic*, iar tensiunea corespunzătoare se numește *efort la limita elastică* (σ_e).

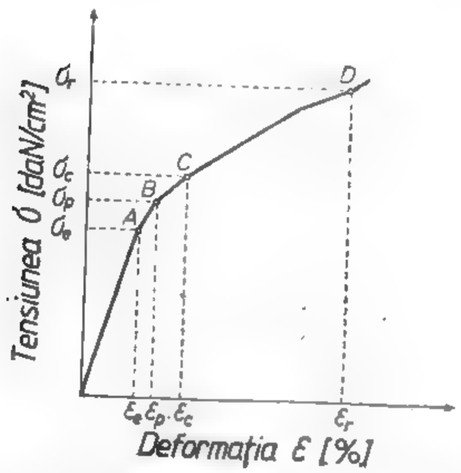


Fig. XVI.37. Curba caracteristică tensiune-deformare.

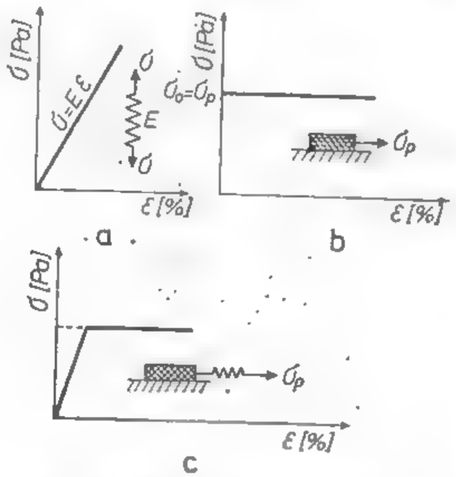


Fig. XVI.38. Comportament de deformare :
a — elastic ; *b* — plastic ; *c* — elasto-plastic.

Experimental și cu totul convențional, astăzi se consideră ca limită elastică efortul unitar normal σ_e(N/m²) pentru care deformația longitudinală remanentă a rocii nu depășește valoarea 0,03% (adică $\varepsilon_{lr} < 0{,}03\%$). În domeniul convențional, stabilit $0 < \varepsilon_{lr} < 0{,}03$ % se consideră că rocile se comportă elastic. Dacă se înlătură o solicitare dată de un efort $\sigma_2 > \sigma_e$ (punctul *c* de pe curbă) și deformația ε nu se anulează sau este apreciabilă, atunci materialul se poate caracteriza printr-o deformație remanentă sau reziduală. Dacă solicitarea este reluată și curba tensiune-deformare este liniară (sau aproximativ

liniară) din b_1 pînă în *d*, punct după care epruveta se va rupe imediat, atunci materialul poate fi încadrat în grupa celor cu comportament la deformare casant (v. fig. XVI.6). Dacă însă efortul de solicitare poate să crească peste σ_3 și materialul va continua să se deformeze neelastic pînă la rupere, atunci asemenea materiale pot fi caracterizate din punctul de vedere al deformării ca și ductile, (v. fig. XVI.6). **În funcție de alura curbelor de tensiune-deformare roca poate fi caracterizată din punctul de vedere al comportamentului la deformare (fig. XVI.39).**

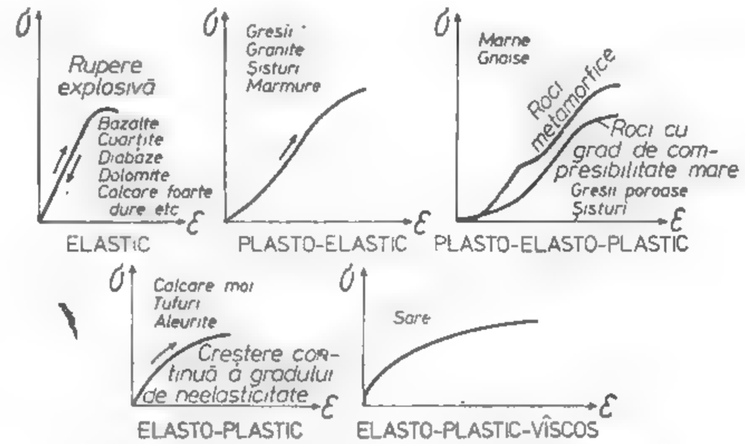


Fig. XVI.39. Tipuri de curbe caracteristice.

Modulul de elasticitate E ; **coeficientul** μ **sau constanta** m **a lui Poisson la încercări statice.** Modulul de elasticitate poate fi definit ca modul tangent sau ca modul secant (fig. XVI.40). Valoarea tangentei la curba caracteristică în punctul considerat pe porțiunea delimitată de efortul σ_e se numește *modul de elasticitate tangent* adică :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{m}{n} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [\mathrm{N/m^2}] \tag{2.14}$$

unde : raportul m/n reprezintă raportul scărilor utilizate la reprezentare. *Modulul de elasticitate secant*, E_s, este definit ca raportul dintre valoarea efortului pînă la limita elastică și deformația corespunzătoare, adică :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\mathrm{N/m^2}] \tag{2.15}$$

(fig. XVI.40). Modulul de elasticitate se poate determina fie prin ridicarea curbei caracteristice, fie prin încărcări și descărcări succesive (fig. XVI.41). Ultima metodă o recomandăm deoarece oferă certitudine și posibilitatea de a determina atît efortul la limita elastică cît și coeficientul sau constanta lui *Poisson*. În cazul acestei metode E și μ (sau m) sînt calculate din măsurarea deformațiilor longitudinale ε_l și a deformațiilor transversale ε_{tr}, cu relațiile (2.14 și 2.15), iar modulul secant :

$$E_s = \frac{\sigma_n - \sigma_{n-1}}{\varepsilon_n - \varepsilon_{n-1}} \tag{2.16}$$

La determinare trebuie respectate următoarele: epruvetă de formă cilindrică cu diametrul minim de 42 mm; coeficientul de svelteţe $\lambda = 2,5$; confecţionarea epruvetei în mod asemănător cu aceea prevăzută de încercarea la compresiune (v. tabelul XVI.19); viteza de solicitare de 0,1—1,0 MPa · s; încercarea unui număr minim de trei epruvete pentru un tip de rocă. Măsurarea deformaţiilor se poate realiza pe cale mecanică, prin

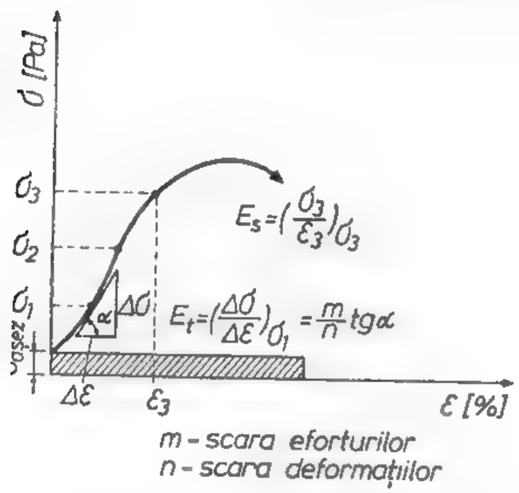


Fig. XVI.40. Definirea modulului de elasticitate.

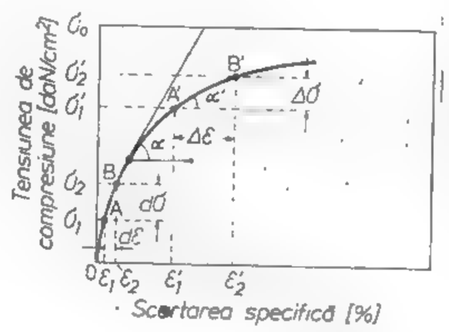


Fig. XVI.41. Determinarea modulului de elasticitate.

utilizarea microcomparatoarelor pe cale tensometrică, prin utilizarea timbrelor tensometrice sau prin amplificare electronică cu preluarea datelor şi transpunerea lor direct pe calculator, obţinînd în final valorile parametrilor elastici. Valoric, modulul de elasticitate al rocilor variază între limitele $(0,5-12) \cdot 10^2$ MPa pînă la $(0,1-0,5) \cdot 10^5$ MPa. Valorile cele mai scăzute ale modulului de elasticitate îl au rocile argiloase sau cu componenţi argiloşi, cărbunii, tufurile poroase, sarea, andezitele puternic alterate etc., iar valorile cele mai ridicate le au rocile de tipul bazaltelor, granitelor, cuarţitelor etc. Domeniul de variaţie a lui μ sau m este: $0 < \mu \leqslant 0,5$ sau $2 < m \leqslant \infty$. În realitate, pentru domeniul elastic coeficientul lui *Poisson* are valoarea sub 0,2—0,25.

Constantele elastice la solicitări dinamice. Atît în contextul dezvoltării fizicii şi al electronicii cît şi în baza faptului că rocile se caracterizează prin proprietăţi acustice, în ultimul timp s-au creat şi dezvoltat metode de determinare a caracteristicilor elastice bazate pe viteza de propagare a undelor elastice. Procedeele utilizate sînt redate în tabelul XVI.21. Toate aceste procedee determină constantele elastice în mod indirect, prin măsurarea vitezelor longitudinală şi transversală de propagare a undelor elastice. Cantitativ rezultă că:

$$E_{din} = \gamma_a (p;\ n) \cdot f(\mu_d) \frac{V_l}{g} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (2.17)$$

Tabelul XVI.21

Metode nedistructive de determinare a caracteristicilor mecanice-elastice

Grupa de metode	Metoda	Procedeul	Utilizare
Acustice	Vibrării	vibrării longitudinale vibrării transversale vibrării prin torsiune	Determinarea caracteristicilor elastice
	Impulsului	undelor longitudinale undelor transversale undelor acustice complexe	Determinarea rezistenţelor mecanice, a caracteristicilor elastice E_d; μ_d sau m_d

unde: $\gamma_a(p;\ n)$ — greutatea specifică aparentă a rocii ca funcţie de compoziţia mineralogică (p) şi de porozitatea (n); $f(\mu_d)$ — o funcţie ce depinde de coeficientul dinamic a lui *Poisson* (μ_d):

$$f(\mu_d) = \frac{(1+\mu_d)(1-2\mu_d)}{(1-\mu_d)} \qquad (2.18)$$

unde:

$$\mu_d = \frac{1-2n^2}{2(1-n)}; \qquad n = \frac{V_t}{V_l} \qquad (2.19)$$

şi deci:

$$E_d = \frac{(1+\mu_d)(1-2\mu_d)}{(1-\mu_d)} \gamma_a V_l^2 \qquad (2.20)$$

sau:

$$E_d = 2(1+\mu_d)\gamma_a V_l^2 \qquad (2.21)$$

Experimental se determină pe epruvete prismatice sau cilindrice, utilizînd modulmetrele cu ajutorul cărora se măsoară timpul necesar (t) pentru ca unda să parcurgă lungimea epruvetei (l). Viteza de propagare poate fi determinată din relaţia:

$$V_l = \frac{l}{t} \qquad [\mathrm{m/s}] \qquad (2.22)$$

şi modulul de elasticitate prin relaţia:

$$E_d = V_l^2 \frac{\gamma_a}{g} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (2.23)$$

Pentru realizarea încercărilor trebuie respectate următoarele condiții :

— lungimea epruvetei să fie $l = 25$ cm și mai mare de cel puțin 2 ori diametrul ei ;

— diametrul epruvetei să fie $d = 2{,}5$ cm ;

— confecționarea și rectificarea epruvetelor să se realizeze ca și în cazul compresiunii (tabelul II.17) ;

— impulsul trebuie să aibă o lungime de undă mai mică decît (1—5) ori dimensiunea laterală a epruvetei ;

— pentru o rocă este necesară una sau mai multe încercări.

Aparatura de solicitare poate fi monoaxială sau triaxială. Constantele elastice se pot determina și *in situ*, prin încercări seismice. Impulsurile seismice sînt create în masiv prin impact mecanic sau prin intermediul explozivilor.

2.5. CARACTERISTICI REOLOGICE

Reologia studiază deformarea materialelor și implicit a rocilor sub efectul eforturilor ce le sînt aplicate, ținînd cont de variația acesteia în timp. Importanța hotărîtoare a cercetărilor mecanicii rocilor în domeniul tehnico-minier se realizează pe deplin numai prin abordarea reologică a masivului de rocă. Astăzi în reologie se disting două direcții mari de cercetare : (1) reologia liniară ; (2) reologia neliniară. Indiferent de direcția de cercetare, reologic, o rocă poate fi studiată fie sub aspectul fenomenului de fluaj :

$$f(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \tag{2.24}$$

adică deformare continuă sub sarcină constantă, sau de relaxare :

$$r(\varepsilon_0, t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \tag{2.25}$$

adică scăderea continuă a eforturilor pentru o deformare constantă. Fenomenele de fluaj sau relaxare se pot reprezenta prin funcții simetrice și, ca urmare, cunoașterea parametrilor de fluaj creează posibilitatea caracterizării rocii și ca relaxare, deci reologic. Pe baza diferitelor date experimentale s-a reușit redarea unei curbe teoretice de fluaj sau deformare în timp (fig. XVI.42) și care analitic corespunde expresiei generale de forma :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1(t) + \overset{\circ}{\varepsilon} \cdot t + \varepsilon_3(t) \tag{2.26}$$

unde : ε_0 este deformația elastică instantanee ;

$\varepsilon(t)$ — fluajul primar sau tranzitoriu (domeniu I de deformare) ;

$\overset{\circ}{\varepsilon} \cdot t$ — fluajul permanent, secundar sau stabil (domeniul II de deformare) ;

$\varepsilon_3(t)$ — fluajul terțiar sau accelerat (domeniul III de deformare).

Pentru a facilita studiul comportamentului de deformare în timp, s-a recurs la utilizarea unor scheme în comportare simple ușor extprimabile în limbaj matematic (modelare analogică), denumite *modele mecanice simple* (tabelul XVI.22). Comporta-

mentul reologic liniar al rocilor poate fi redat prin considerarea diferitelor combinații (tip serie, paralel sau mixt) ale modelelor simple.

Rezolvarea unor probleme ca cele legate de stabilitatea lucrărilor miniere la zi și în subteran precum și a regimului de presiune minieră în contextul interacțiunii cu susți-

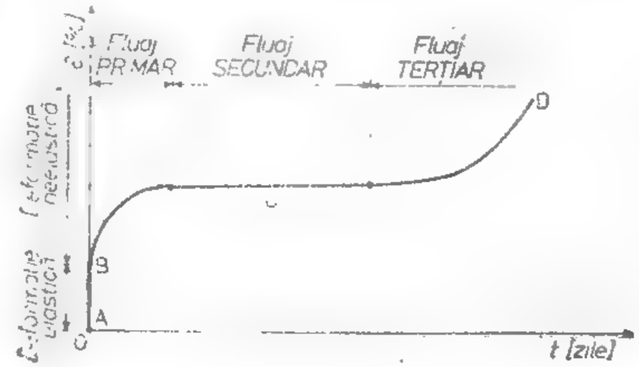
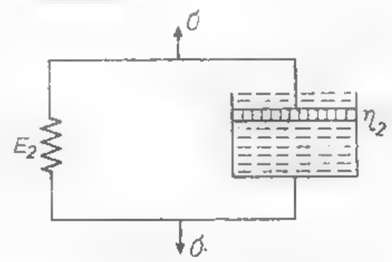
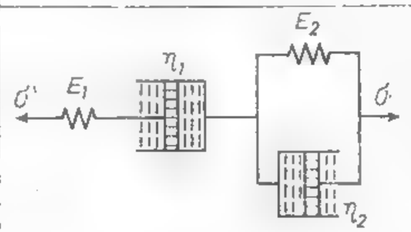


Fig. XVI.42. Curba teoretică de fluaj.

Tabelul XVI.22. Modele mecanice simple utilizate în reologia rocilor

CORPUL	MODELUL REOLOGIC	ECUAȚIA MODELULUI
ELASTOVÎSCOS (Maxwell) M=H-N		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1}\left[1 + \frac{E_1}{\eta_1} t\right]$
RIGID-VÎSCOS (Kelwin) K=H/N		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_2}\left[1 - e^{\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right)}\right]$
VÎSCO-ELASTIC (Burgers) Bu=M-K		$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_1}\left[1 + \frac{E_1}{\eta_1} t\right] + \frac{\sigma}{E_2}\left[1 - e^{\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right)}\right]$

nerea reclamă necesitatea utilizării modelelor neliniare (fig. XVI.43). Asemenea modele prezintă dificultăţi mari în calculul lor şi care se reduc în cazul utilizării calculatoarelor şi a metodelor numerice de integrare.

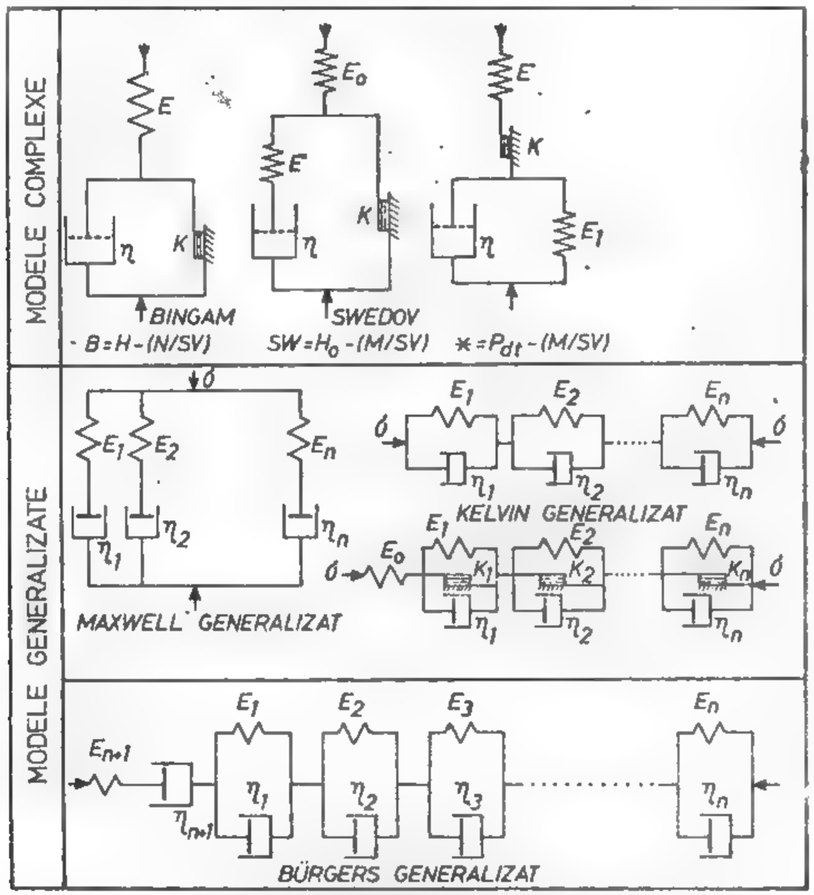


Fig. XVI.43. Modele neliniare reologice.

Caracterizarea reologică a unei roci sau substanţe minerale utile se realizează prin determinarea curbei caracteristice de fluaj şi relaxare, iar funcţie de comportament se stabilesc pearametrii reologici corespunzători : modulul de elasticitate reologic ; coeficientul de viscozitate ; parametrii plastici de comportare ; timpul de intîrziere T_{int} ; timpul de relaxare T_{rel} gradul de solicitare $\Delta = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_r}$; viteza de deformare $\overset{\circ}{\varepsilon}$; corelaţia dintre viteza de deformare şi gradul de solicitare (fig. XVI.44) etc.

Studierea comportamentului reologic al rocilor se poate realiza pe cale de laborator şi *în situ*. În laborator solicitarea în timp se realizează cu ajutorul instalaţiilor de tip hidraulic, (fig. XVI.45) sau mecanic (fig. XVI.46), folosind epruvete de rocă pregătite în conformitate cu solicitarea realizată : compresiune, tracţiune sau forfecare (tabelul (tabelul XVI.18).

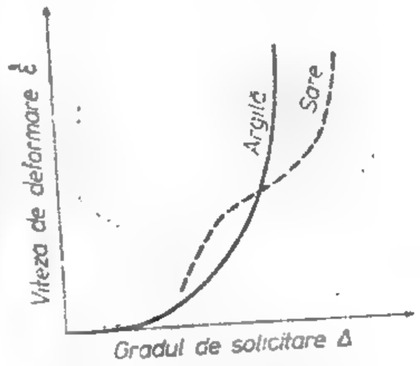


Fig. XVI.44. Corelaţia dintre viteza de deformare şi gradul de solicitare.

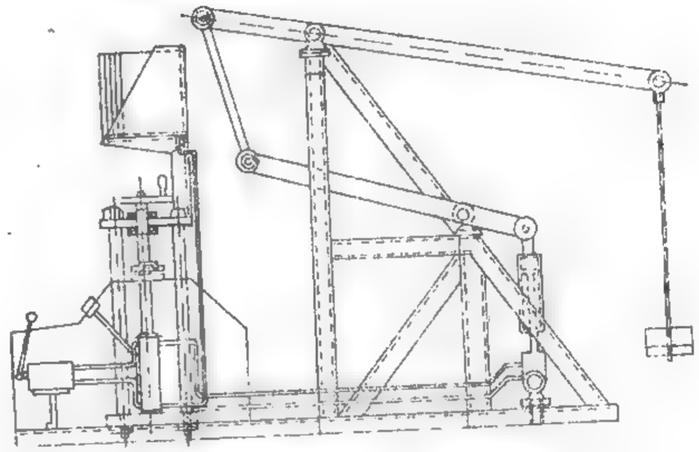


Fig. XVI.45. Instalaţie hidraulică pentru încercări reologice.

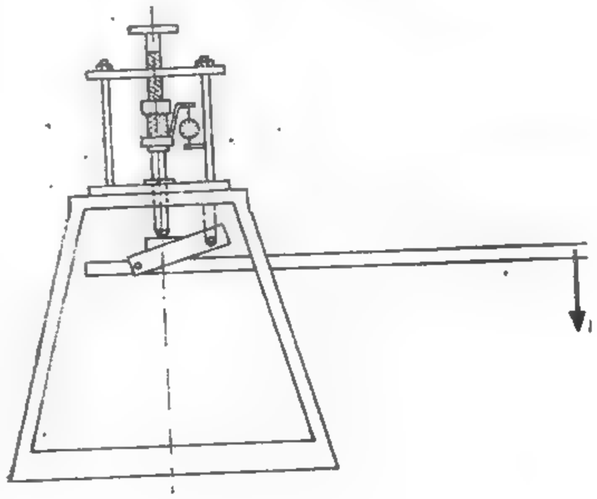


Fig. XVI.46. Instalaţie mecanică pentru încercări reologice.

3. STABILITATEA EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Prin noțiunea de stabilitate se înțelege o asemenea stare a sistemului care menține un echilibru stabil al acestuia, cu păstrarea secțiunii de lucru pe durata de existență proiectată. Evaluarea stabilității se efectuează pe baza calculului stării de tensiune a rocilor înainte și după executarea excavației subterane, prin stabilirea mărimii presiunii care acționează asupra excavației subterane.

3.1. STAREA DE TENSIUNE A MASIVULUI DE ROCI NEDERANJATE PRIN EXCAVAȚII

Masele de roci din scoarța terestră sînt supuse forțelor gravitaționale, forțelor endogene și forțelor exogene.

În cazul unui masiv, făcînd abstracție de forțele endogene și cele exogene, forța exterioară care acționează asupra unei particule elementare este chiar greutatea proprie a masivului aferent particulei elementare și care creează asupra acesteia o stare de tensiune denumită *presiune litostatică*. Această presiune se datorează forței gravitaționale care acționează după direcția verticalei locului și spre centrul Pămîntului. Datorită acestei forțe, o particulă elementară aflată la o adîncime (H) în scoarța terestră va fi supusă unor tensiuni verticale și unor tensiuni laterale.

În ceea ce privește *tensiunile verticale* (fig. XVI.47) este acceptată ipoteza că *indiferent de mediul la care ne referim, acestea sînt proporționale cu adîncimea la care se studiază.* Adică :

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = p \qquad (3.1)$$

Mărimea tensiunilor laterale depinde de starea fizică în care se găsește masivul studiat, existînd mai multe ipoteze.

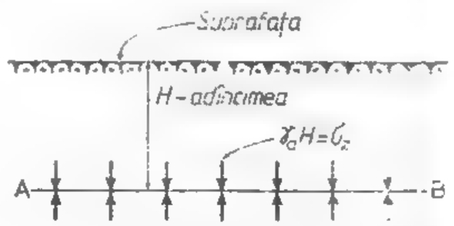


Fig. XVI.47. Ilustrarea tensiunilor verticale.

3.1.1. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

P. Kühn consideră că într-un mediu elastic omogen și izotrop, pentru o particulă elementară, un cub cu latura unitară, care se găsește la adîncimea H (fig. XVI.48) va fi supus la compresiune de către greutatea stîlpului de rocă pe această adîncime, avînd secțiunea transversală unitară.

Punînd condiția la limită, se ajunge la expresia :

$$\frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu \sigma_z}{E} = 0$$

de aici :

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \sigma_z = \xi \sigma_z . \qquad (3.2)$$

Dacă direcțiile axelor z, y și x coincid cu direcțiile axelor principale, tensiunile σ_z, σ_y și σ_x vor deveni tensiuni principale, iar relația (3.2) devine :

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \sigma_1 = \xi \sigma_1 . \qquad (3.3)$$

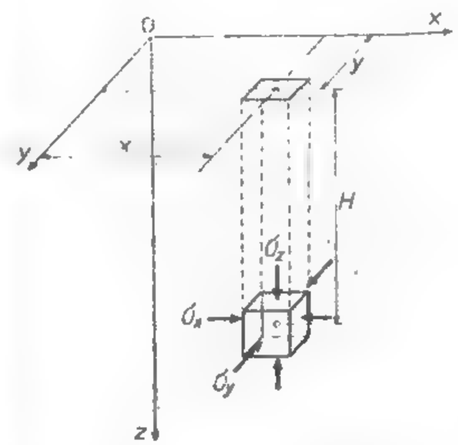


Fig. XVI.48. Starea de tensiune asupra unei particule elementare în ipoteza lui P. Kühn.

Tabelul XVI.23

Variația tensiunilor laterale în funcție de valoarea lui μ

μ	$\sigma_x = \sigma_y$
0	$\sigma_x = 0$
0,1	$\sigma_x = 0,11\ \sigma_z$
0,2	$\sigma_x = 0,28\ \sigma_z$
0,3	$\sigma_x = 0,43\ \sigma_z$
0,4	$\sigma_x = 0,66\ \sigma_z$
0,5	$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$

Pentru cazul tensiunilor tangențiale maxime, P. Kühn stabilește relația :

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_z}{2} \cdot \frac{1-2\mu}{1-\mu} \qquad (3.4)$$

După modul de comportare al rocilor — în funcție de valoarea lui μ, tensiunile laterale variază conform tabelului XVI.23.

Din aceste relații rezultă că presiune litostatică diferă ca mărime de presiunea hidrostatică. Numai în cazul stării lichide a rocilor, atunci cînd avem de-a face cu roci curgătoare, presiunea litostatică are aceeași mărime ca presiunea hidrostatică. În acest caz $\mu = 0{,}5$ și deci : $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma_a H$.

R. Fenner exprimă starea de tensiune pentru un mediu elastic omogen și izotrop în coordonate polare, ajungînd la expresiile :

$$\sigma_r = \frac{p}{2(m-1)}\,[m + (m-2)\cos 2\theta)]\,;$$

$$\sigma_\theta = \frac{p}{2(m-1)}\,[m - (m-2)\cos 2\theta)]\,;$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{p(m-2)}{2(m-1)}\,.\,\sin 2\theta \qquad (3.5)$$

Problema tratată aici va fi dezvoltată în cele ce urmează.

3.1.2. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

Pentru cazul unei roci lipsite de coeziune, sau pentru o rocă care în fază inițială are un comportament elastic dar datorită valorii tensiunilor care depășesc rezistența acesteia la forfecare se va sfărîma, echilibrul între tensiuni se stabilește plecînd de la relația :

$$\sigma_1 = Q + j \cdot \sigma_3$$

Considerînd coeziunea nulă, se ajunge la :

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sigma_1 \qquad (3.6)$$

Dacă starea de tensiune este exprimată prin tensiuni oarecare, atunci :

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} \cdot \sigma_z \qquad (3.7)$$

Un exemplu de rocă în stare perfect elastică este nisipul curat și uscat.

În funcție de forma și dimensiunile particulelor de nisip, unghiul de frecare interioară a acestuia variază de la 30—45°, iar tensiunile laterale au valorile conform tabelului XVI.24.

Tabelul XVI.24

Valoarea tensiunilor laterale în funcție de φ

φ°	$\sigma_x = \sigma_y$
30	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}33\ \sigma_z$
35	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}27\ \sigma_z$
40	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}22\ \sigma_z$
45	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}17\ \sigma_z$

Substanțele casante, fărîmițate, cum ar fi rocile fărîmițate datorită unor presiuni excesive, pot fi considerate ca roci clastice, cu condiția să nu mai posede coeziune.

3.1.3. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT PLASTIC

Rocile sau substanțele minerale utile, care după forfecare mai posedă o oarecare coeziune, se găsesc în stare plastică. Coeziunea existentă în rocă reduce valoarea tensiunilor laterale create de tensiunea verticală și, în acest caz, relația între tensiuni are forma :

$$\sigma_x = \sigma_y = i\sigma_z - 2\,ic\,\frac{\cos\varphi}{1 - \sin\varphi} \qquad (3.8)$$

Substanțele sau rocile tipice care se află în stare plastică sînt argila și nisipul care conține o cantitate apreciabilă de argilă sau nămol.

Pentru starea plastică se amintește și *ipoteza lui Țimbarevici*, care se bazează pe observațiile lui *Kükn* și pe condiția de plasticitate, care determină limita de curgere din expresia deja cunoscută :

$$\sigma_z - \sigma_x = K_f$$

și

$$\sigma_x = \frac{\mu}{1 - \mu}\,\gamma_a \cdot H$$

de unde :

$$H = \frac{K_f}{\gamma_a} \cdot \frac{1 - \mu}{1 - 2\mu} \qquad (3.9)$$

Această relație, dedusă de *Țimbarevici*, stabilește adîncimea, H, de la care, în jos, rocile trec din stare elastică în stare plastică.

Cunoașterea adîncimii limită a zonei elastice are o importanță deosebită deoarece, trecînd în domeniul deformațiilor plastice, se ridică o serie de probleme legate de creșterea presiunii și susținerea lucrărilor miniere cu susțineri adecvate. Pentru condițiile Văii Jiului adîncimile limite ale zonei elastice pentru diferite roci și după diverși autori sînt redate în tabelul XVI.25.

Tabelul XVI.25

Adîncimea limită a zonei elastice pentru cîteva roci din Valea Jiului

Autorul	Formula autorului	Adîncimea limită a zonei elastice [m]		Adîncimea limită a zonei elastice [m]		
		Valoare rezultată din calcul	Valoare medie	Argile	Marne și gresii slabe	Gresii dure
		$\xi=0{,}227$	$\xi=0{,}75$	$\sigma_c=180$	$\sigma_c=450$	$\sigma_c=650$
P.M. Țimbarevici	$h_e=\frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
V. D. Slesarev	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
H. Labasse	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
F. A. Belaenko	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a(1-\xi)}$	260	510	340	450	680
K. V. Ruppenait	$h_e=\frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
I. Bealer	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a M}$	2160	655	490	1170	1650
R. Cvapil	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a\cdot M_1}$	785	—	240	1400	2400
E. T. Proeavkin	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400
A. P. Maksimov	$h_e=\frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	720	1750	2400

σ_c este rezistența la compresiune; σ_e — limita elastică; $\xi=\frac{\mu}{1-\mu}$ — coeficientul împingerii laterale; M — coeficient ce depinde de mărimile constante care caracterizează roca (pentru roci stabile de tărie medie $M=1{,}3-2$); M_1 — coeficient care depinde de proprietățile rocii pentru roci care au $f=2$, $M_1=3$; pentru roci care au $f=2$, $M=1{,}25$; γ_a — greutatea specifică aparentă.

3.1.4. STAREA DE TENSIUNE ÎNTR-UN MASIV CU COMPORTAMENT NEELASTIC

Dacă se consideră masivul de rocă ca avînd un comportament vîscoelastic, elasto-viscos sau elasto-vîsco-plastic, în relațiile care definesc starea de tensiune va interveni un nou parametru — *timpul*. În cazul cel mai general componenta verticală rămîne neschimbată, adică $\sigma_z=\gamma_a\cdot H$. În ce privește componenta orizontală, aceasta se modifică în funcție de comportamentul masivului. Astfel, în cazul unui masiv omogen, neelastic de tip *Kelwin*, componenta orizontală se modifică prin modificarea coeficientului împingerii laterale ξ în ξ_k astfel:

$$\xi_k=\frac{\mu}{1-\mu}\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right),\ \text{unde}\quad \tau=\frac{\eta_k}{E_k}$$

Astfel, starea de tensiune va avea forma:

$$\sigma_x=\sigma_y=\xi_k\cdot\sigma_z=\frac{\mu}{1-\mu}\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\cdot\sigma_z$$

Cînd $t=0$, $\xi_k=0$ și $\sigma_x=\sigma_y=0$; $\sigma_z=\gamma_a\cdot H$

Cînd $t=\infty$, $\xi_k=\xi=\frac{\mu}{1-\mu}$ și $\sigma_x=\sigma_y=\frac{\mu}{1-\mu}\sigma_z$; $\sigma_z=\gamma_a\cdot H$

Deci, în cazul unui masiv cu un comportament neelastic de tip *Kelwin*, tensiunile orizontale se modifică crescînd, odată cu timpul ($t=0$ și $t=\infty$), de la un masiv cu comportament perfect elastic, la un masiv a cărui elasticitate depinde de valoarea coeficientului lui *Poisson*.

În cazul unui masiv cu un comportament de tip *Maxwell*, se modifică, de asemenea componenta orizontală ξ în ξ_M astfel:

$$\xi_M=\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\ \text{în care}\ \tau=\frac{\eta_M}{E_M}\ \text{și deci:}$$

$$\sigma_x=\sigma_y=\xi_M\cdot\sigma_z=\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\sigma_z\ \text{și}\ \sigma_z=\gamma_a\cdot H$$

Cînd $t=0$, $\sigma_x=\sigma_y=0$; $\sigma_z=\gamma_a\cdot H$

Cînd $t=\infty$; $\sigma_x=\sigma_y=\sigma_z$; $\sigma_z=\gamma_a\cdot H$

Și în acest caz se constată că tensiunile orizontale se modifică în timp de la un comportament perfect elastic, la un comportament plastic spre curgător.

3.1.5. STAREA DE TENSIUNE DE ORIGINE TECTONICĂ

Existența stării de tensiune de natură tectonică sau reziduală este semnalată de unele anomalii care se produc în excavațiile subterane prin deformații foarte mari care modifică mult componentele laterale. Această modificare importantă a componentelor laterale se poate datora fie eforturilor laterale de compresiune create de acțiunea fenomenelor tectonice, fie că ea este rezultatul unei stări reziduale sau ereditare de tensiuni din

timpul cînd masivul nu a suferit anume fenomene de eroziune. Aceste fenomene singulare sau cumulate pot crea o stare de tensiune care depășește valoarea tensiunilor gravitaționale.

S-a văzut anterior că:

$$\xi = \frac{\mu}{1-\mu} \text{ unde: } \mu = 0 - 0{,}5 \text{ și deci } \xi = 0 - 1$$

Rezultă de aici că dacă se ia în considerare numai starea de tensiune de origine gravitațională, tensiunile laterale nu pot depăși ca valoare tensiunile verticale. Însă, așa cum s-a arătat, în unele puncte ale scoarței terestre au fost măsurate tensiuni de valori $\sigma_x = (0{,}6 - 8)\ \sigma_z$.

Din punct de vedere teoretic, elucidarea acestor fenomene are încă semne de întrebare.

Admițînd totuși că starea de tensiune de origine gravitațională creează tensiunile σ_x, σ_y, σ_z, iar starea de tensiune de natură tectonică sau reziduală creează o stare de tensiuni σ_x'', σ_y'' și σ_z'' atunci, starea naturală totală de tensiuni va fi:

$$\sigma_x = \sigma_x' + \sigma_x''; \ \sigma_y = \sigma_y' + \sigma_y'' \text{ și } \sigma_z = \sigma_z' + \sigma_z''$$

Datorită cunoașterii insuficiente a fenomenelor tratate mai sus, în practica curentă a stabilirii stării de tensiune, majoritatea cercetătorilor iau în considerare numai tensiunile de natură tectonică.

3.2. REPARTIZAREA TENSIUNILOR ÎN ROCILE DIN JURUL EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Dacă în interiorul unui masiv oarecare, care are o stare de tensiune bine definită, vom executa o excavație de orice natură, starea de tensiune inițială se modifică creîndu-se o redistribuire a tensiunilor.

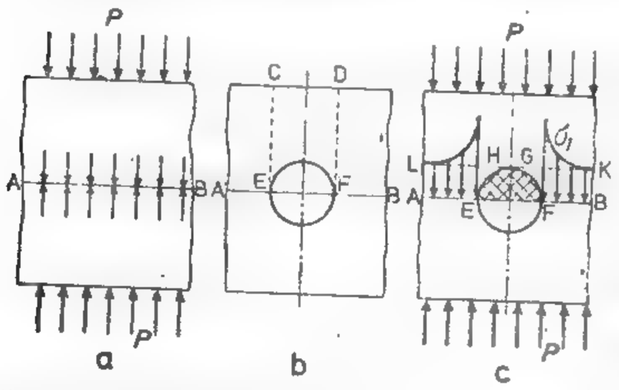


Fig. XVI.49. Concentrarea de tensiuni pe periferia unui orificiu circular:

a — placă intactă; *b* — placă în care a fost executat un orificiu circular; *c* — modul de concentrare a tensiunilor în jurul orificiului.

Pentru a explica modul de redistribuire a tensiunilor, se consideră o placă (fig. XVI.49) solicitată cu o forță oarecare P.

Dacă în placă nu se execută nici un orificiu, atunci în orice plan normal față de P (planul AB) mărimea solicitării este aceeași (fig. XVI.49, *a*).

Dacă însă se execută un orificiu în această placă, sarcina dată de blocul $CDEF$ nu poate fi transmisă prin orificiu și, în acest caz, ea va fi redistribuită în jurul orificiului, creîndu-se concentrări de tensiuni, care ating valoarea maximă la capetele

diametrului orizontal, valoare care descrește pe măsură ce ne îndepărtăm de orificiu (fig. XVI.49, *c*). Fenomenul fiind similar și pentru excavațiile subterane, concentrarea de tensiuni poate să provoace fisuri și căderi de blocuri în lucrarea minieră.

Studiul tensiunilor în excavațiile miniere se realizează prin mai multe procedee, și anume:

- studii și cercetări teoretice;
- studii prin metoda materialelor echivalente;
- studii prin fotoelasticimetrie;
- studii prin metode combinate.

3.2.1. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE CLASICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR

3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene și izotrope

Unele roci, respectiv substanțe minerale utile, care se găsesc la anumite adîncimi în scoarța terestră pot fi considerate ca avînd un comportament elastic. Făcînd această presupunere, rezultatele obținute pot fi generalizate prin teoriile deja cunoscute.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Studiile matematice se bazează pe anumite relații deja stabilite, atît în cadrul teoriei elasticității, cît și la formațiunile de roci neatacate prin lucrările miniere.

Dacă se consideră o particulă materială aflată la o distanță r de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.50) și în centrul axelor o lucrare minieră circulară de rază a, se observă că *relațiile lui Fenner* (3.5) sînt date pentru cazul cînd r are valori mari, adică particula studiată este foarte departe de lucrarea minieră.

Pentru cazul cînd $r = a$, relațiile vor deveni:

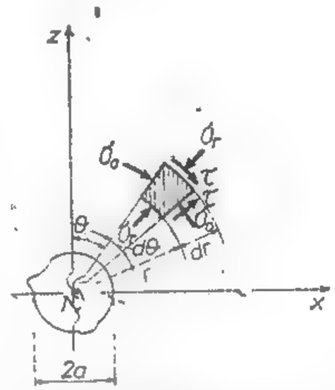


Fig. XVI.50. Starea de tensiune asupra unei particule exprimate în coordonate polare.

$$\sigma_r = \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \frac{r^2 - a^2}{r^2} + \frac{P}{2} \cdot \frac{m-2}{m-1}\left[1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right]\cos 2\theta;$$

$$\sigma_\theta = \frac{P}{2} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \frac{r^2 + a^2}{r} - \frac{P \cdot m - 2}{2m - 1}\left[1 + \frac{3a^4}{r^4}\right]\cos 2\theta;$$

$$\tau = \frac{P}{2} \cdot \frac{m-2}{m-1}\left[-1 - \frac{2a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4}\right]\sin 2\theta \qquad (3.10)$$

Aceste relații corespund întru totul relațiilor (3.5) pentru $m = \infty$, adică pentru cazul unei roci perfect elastice.

Tensiunile principale σ_{max} și σ_{min}, cum și τ_{max} pot fi calculate cu următoarele relații:

$$\sigma_{min}^{max} = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{4\tau^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}; \qquad (3.11)$$

$$\tau_{min}^{max} = \pm \frac{1}{2}\sqrt{4\tau^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}$$

Dacă se reprezintă grafic punctele cu aceleași valori ale tensiunilor principale σ_{max} și σ_{min}, se obțin, pentru $m = 5$ și valori ale lui $\varphi = 0 - 360°$, izocurbele din fig. XVI. 51.

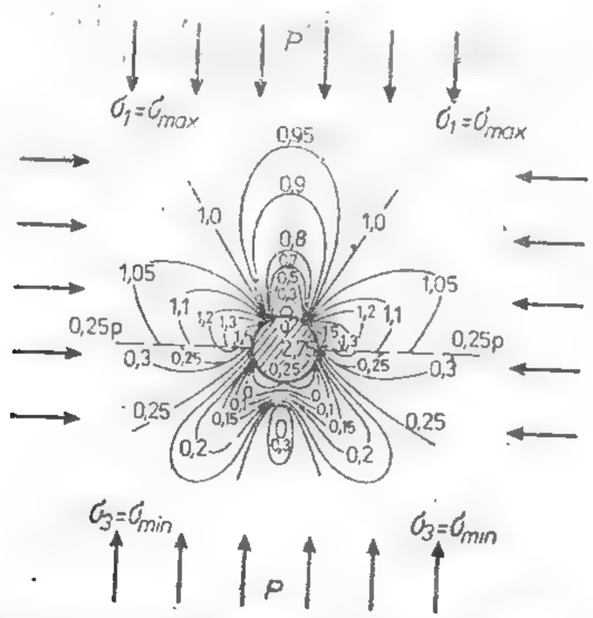


Fig. XVI.51. Izocurbele tensiunilor principale maxime și minime în jurul unei galerii circulare (după P. Kühn).

Cifrele din dreptul izocurbelor indică valorile coeficientului de concentrare K al tensiunilor, adică mărimea tensiunii în punctul dat după executarea lucrării miniere în comparație cu tensiunea din același punct, înainte de executarea lucrării respective.

Dacă ar exista tensiunile $\sigma_1 = \sigma_{max}$ și $\sigma_3 = \sigma_{min}$ în ambele jumătăți ale galeriei, aceste două tensiuni s-ar suprapune creînd la intersecția lor valori maxime a tensiunilor de forfecare.

Aceste tensiuni de forfecare provoacă o fisurare pronunțată a rocilor, fisurare care se poate extinde la distanțe mari, atît în pereți, cît și în tavan și vatră.

Mărimea acestor tensiuni este dată de relația:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \qquad (3.12)$$

Conform acestei relații, pot fi studiate mai multe cazuri (fig. XVI.52).

După cum se observă, tensiunile maxime de forfecare au loc pe planuri care produc unghiuri de 45° cu direcția tensiunii principale. Dacă se consideră o lucrare minieră cir-

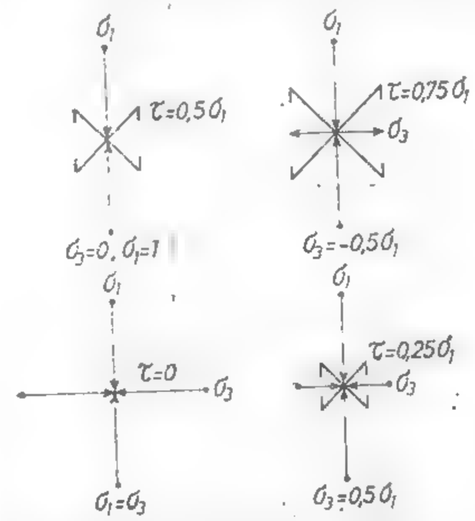


Fig. XVI.52. Variația tensiunilor de forfecare funcție de tensiunile normale.

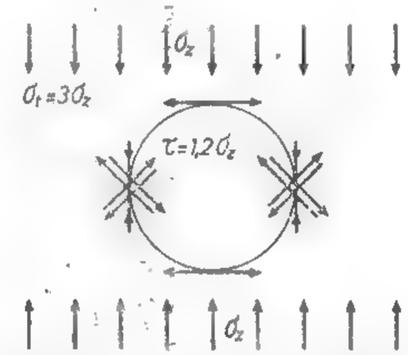


Fig. XVI.53. Formarea tensiunilor de forfecare în jurul unei galerii circulare.

culară, cu un coeficient de concentrare a tensiunilor $K = 3\gamma_a \cdot H$, și știind că pe periferia lucrării una din tensiunile principale este egală cu zero, se obține tensiunea maximă de forfecare în punctele în care tensiunea de compresiune este maximă (fig. XVI.53). Pentru a evita formarea tensiunilor de forfecare, este necesar să se realizeze o reacțiune $\sigma_3 = \sigma_1$. În acest caz $\tau_{max} = 0$.

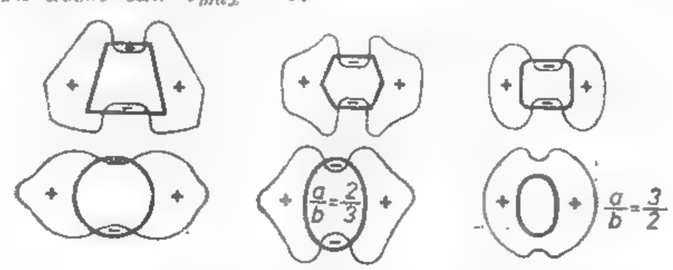


Fig. XVI.54. Repartizarea tensiunilor în jurul lucrărilor miniere orizontale de diferite forme.

Studii similare referitoare la modul de repartizare a tensiunilor pot fi realizate și pentru alte forme geometrice ale secțiunilor transversale, aici redînd numai reprezentările grafice ale repartizării tensiunilor (fig. XVI.54).

Ț i m b a r e v i c i a sintetizat valorile coeficienților de concentrare a tensiunilor principale pe latura superioară și inferioară a lucrării considerate, precum și pe mijlocul pereților lucrării, rezultînd datele din tabelul XVI.26.

Tabelul XVI.26

Valorile coeficienților de concentrare a tensiunilor principale pe latura superioară, inferioară și pe mijlocul pereților

Forma secțiunii transversale		Circulară	Eliptică	Dreptunghiulară				Pătrată	Dreptunghiulară		
Raportul dintre înălțime și lățime a/b			2:3; 3:2	18:1	5:1	3:1	1:1	1:3	1:5	1:18
Marginea (latura) superioară și inferioară a secțiunii	σ_{max}	0,00	0,00; 0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
	σ_{min}	−0,25	−0,42; 0,00	0,70	−0,16	−0,23	−0,44	−0,64	−0,67	0,75
Marginile secțiunii în mijlocul pereților	σ_{max}	2,75	3,75; 2,20	0,80	0,96	1,00	1,30	2,00	2,23	5,00
	σ_{min}	0,00	0,00; 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Coeficienții de concentrare care au semnul (−) indică tensiuni de tracțiune.

Din analiza tensiunilor din jurul lucrărilor miniere orizontale se constată că:

— în pereții lucrărilor miniere cu secțiune pătrată și dreptunghiulară există tensiuni de compresiune a căror valoare maximă este la partea superioară și la cea inferioară a pereților, iar cea minimă, la mijlocul înălțimii acestora;

— în lucrările de formă circulară sau eliptică, pereții sînt supuși, de asemenea, tensiunilor de compresiune, aceste tensiuni fiind maxime la extremitățile axei orizontale;

— în tavanul și vatra lucrării apar, în cele mai dese cazuri, tensiuni de tracțiune;

— la lucrările cu secțiune poligonală se produc concentrări de tensiuni de compresiune și de forfecare la punctele de contact dintre tavan și pereți, respectiv la punctele de contact dintre vatră și pereți.

Cele mai expuse din punct de vedere al rezistenței și stabilității sînt porțiunile din perimetrul secțiunii lucrării subterane supuse la tensiuni de tracțiune și de forfecare.

Zonele respective se identifică cu ajutorul relațiilor:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{1-2\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H \leqslant \sigma_t$$

și

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1-2\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H \leqslant \sigma_f \qquad (3.13)$$

Pentru ca lucrarea minieră să fie stabilă, valorile astfel determinate nu trebuie să depășească rezistențele mecanice respective ale rocilor considerate.

Studiile analizate pînă în prezent s-au referit la forme geometrice perfecte. Dacă se ține seama de faptul că lucrările miniere au conturul real neregulat, cu intrînduri și ieșinduri, în special cînd se folosesc lucrări de perforare-împușcare, acestea vor genera concentrări suplimentare ale tensiunilor în comparație cu tensiunile calculate ale conturului proiectat. Coeficienții de concentrare suplimentară a tensiunilor în vîrfurile neregularităților nu depind de forma conturului lucrării ci, în principal, de amplitudinea și numărul neregularităților. Concentrarea locală a tensiunilor datorită neregularităților conturului este considerabil mai mare decît pentru contururi ideale. Astfel, întrîndurile cauzează concentrări de tensiuni, iar ieșindurile descărcări de tensiuni.

Pentru evitarea formării tensiunilor suplimentare, care creează perturbări ale stării de tensiune, este recomandabil ca lucrările miniere să se execute prin împușcări de netezire sau cu ajutorul combinelor. În aceste cazuri, tensiunile suplimentare vor fi reduse la minimum.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se consideră o lucrare minieră verticală, cu secțiunea circulară (fig. XVI.55), executată într-un masiv elastic omogen și izotrop, starea de tensiune se exprimă prin relațiile:

$$\sigma_r = \frac{\mu}{1-\mu}\gamma_a H\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right);$$

$$\sigma_\theta = \frac{\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H\left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) \qquad (3.14)$$

Pentru punctele de pe conturul puțului, adică pentru $r = a$, aceste tensiuni au valorile: $\sigma_r = 0$;

$\sigma_\theta = \frac{2\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H$, adică $\sigma_\theta = 2\sigma_x = 2\sigma_y$. Se constată, din acest grafic, că tensiunea tangențială are valoarea cea mai mare, iar tensiune radială — valoarea cea mai

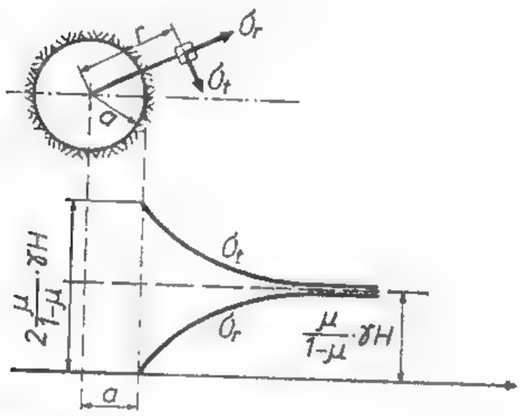


Fig. XVI.55. Variația tensiunilor radiale și tangențiale în jurul unei lucrări miniere verticale cu secțiune circulară (după P. M. Țimbarevici)

mică la periferia puțului și că aceste tensiuni (σ_θ) scad, respectiv (σ_r) cresc, tinzînd asimptotic către valoarea:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H \tag{3.15}$$

Pentru ca lucrarea minieră verticală să fie stabilă, este necesar să fie satisfăcută relația:

$$\frac{2\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H \leqslant \sigma_t \tag{3.16}$$

3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice

Pornind de la unele date practice referitoare la echilibrul care ia naștere în jurul orificiilor executate în medii plastice sau cu coeziune mică, precum și de la fenomenul de boltire observat la silozurile de cereale, s-a trecut la studierea prin metoda matematică de investigație a tensiunilor care apar în jurul acestor lucrări miniere de diferite forme și destinații.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Plecînd de la observațiile amintite, L a b a s s a stabilit ecuația generală de echilibru în jurul unei lucrări miniere circulare, în coordonate polare, pentru cazul unei roci omogene, considerînd lucrarea minieră în centrul axelor de coordonate și un element care se află la distanța r față de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.56).

Se consideră că acest element se află în echilibru dacă proiecția forțelor pe raza care trece prin centrul de greutate și pe perpendiculara la această rază vor fi egale cu zero. În acest caz:

$$\sigma_r \cdot r d\omega - \left(\sigma_r + \frac{\partial\sigma_r}{\partial r}dr\right)(r + dr)\,d\omega + \sigma_t\, dr \cdot \sin\frac{d\omega}{2} +$$

$$+\left(\sigma_t + \frac{\partial\sigma_t}{\partial\omega}d\omega\right)dr \cdot \sin\frac{d\omega}{2} + \tau\, dr \cdot \cos\frac{d\omega}{2} - \left(\tau + \frac{\partial\tau}{\partial\omega}\right)dr \cdot \cos\frac{d\omega}{2} + \gamma_a\, r d\omega\, dr \cdot \cos\omega = 0;$$

$$\sigma_t\, dr \cdot \cos\frac{d\omega}{2} - \left(\sigma_t + \frac{\partial\sigma_t}{\partial\omega}d\omega\right)dr \cos\frac{d\omega}{2} +$$

$$+ \tau_r\, d\omega \quad \left(\tau + \frac{\partial\tau}{\partial r}dr\right)(r + dr)\,d\omega - \tau\, dr \cdot \sin\frac{d\omega}{2} - \tag{3.17}$$

$$-\left(\tau + \frac{\partial\tau}{\partial\omega}d\omega\right)dr \sin\frac{d\omega}{2} - r d\omega\, dr\, \gamma_a \cdot \sin\omega = 0$$

După o serie de calcule se obține:

$$\sigma_r = p_i\left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} + \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j \cdot 2}\left[\left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} \quad \frac{r}{a}\right]\cos\omega \tag{3.18}$$

$$\sigma_t = j\sigma_r$$

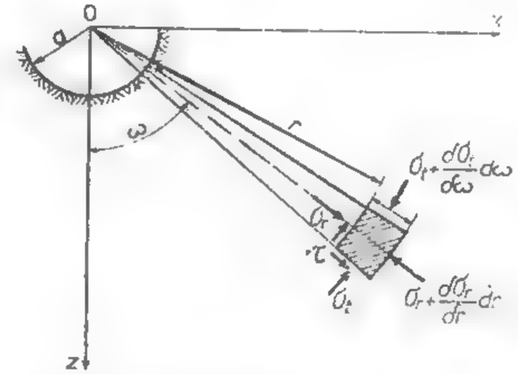


Fig. XVI.56. Echilibrul unui element în ipoteza lui Labass.

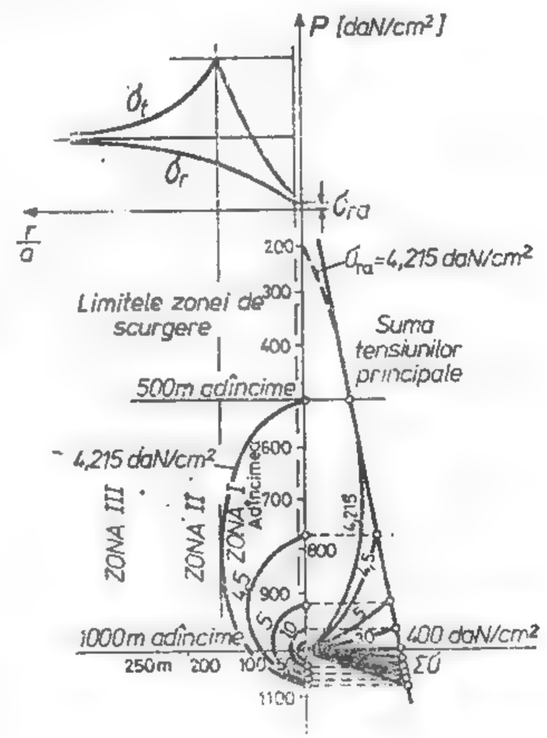


Fig. XVI.57. Formarea zonelor de curgere în jurul unei galerii orizontale cu secțiunea circulară pentru diferite valori ale reacțiunii susținerii (după R. Fenner).

În urma studierii stărilor de tensiune se ajunge la concluzia că în jurul unei galerii circulare se formează o zonă de curgere de formă eliptică, cu axa mare verticală, avînd axa galeriei în focarul inferior (fig. XVI. 57).

Această zonă de curgere se extinde pe distanțe cu atît mai mari, cu cît tensiunile radiale pe periferia lucrării, care se consideră egale cu reacțiunea susținerii p_i sau σ_{ra}, sînt mai mici.

Dacă reacțiunea susținerii scade sub o valoare anumită, caracteristică fiecărei roci în parte, atunci limita zonei de curgere nu mai este o elipsă, ci o curbă deschisă de genul parabolei, care taie suprafața. Aceasta înseamnă, din punct de vedere practic, că în jurul galeriei respective nu se va ajunge la un echilibru între tensiunile interioare, fenomenul de curgere fiind continuu spre golul creat de galerie. În astfel de roci, pentru a stabili echilibrul, va trebui să se aplice o susținere de mare rezistență.

În urma acestor studii, H. L a b a s s , însușindu-și punctul de vedere a lui R. F e n n e r, admite ideea că în jurul lucrărilor miniere săpate în roci clastice sau plastice sau în roci elastice, unde tensiunile au depășit rezistențele corespunzătoare, se formează trei zone, și anume:

— zona tensiunilor *reduse*, în interiorul căreia rocile sînt fisurate și afînate, zonă delimitată de o suprafață învelitoare; în interiorul acestei zone tensiunile radiale și cele tangențiale cresc continuu;

— zona tensiunilor *mărite* — inel portant — care cuprinde o bandă îngustă situată de-a lungul suprafeței învelitoare; în această zonă tensiunea tangențială atinge valoarea maximă;

— zona *de trecere* de la tensiunile mărite la tensiunile din masiv, lucru demonstrat și de faptul că atît tensiunile tangențiale cît și cele radiale tind către valoarea tensiunilor din masivul intact.

Cele trei zone nu au un caracter static, ele evoluînd în strînsă legătură cu reacțiunea susținerii.

Considerînd că suprafața învelitoare a primei zone în care rocile sînt sfărîmate și afînate are o formă cilindrică, se va putea determina raza acesteia cu relația:

$$b = a\sqrt[j+1]{\frac{2\sigma_z(j-1)+\sigma_c}{(j-1)\sigma_c}} \qquad (3.19)$$

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se presupune că într-o formațiune de roci plastice sau clastice se execută un puț vertical cu secțiunea circulară, avînd o susținere interioară suficient de rezistentă, prevăzută cu anumite orificii, prin care materialul plastic sau clastic are posibilitatea să se scurgă, se va constata că, după o anumită perioadă de timp, se va ajunge la un echilibru între tensiunile din interiorul acelor roci, iar presiunea finală care va acționa asupra susținerii va putea fi preluată de susținerea respectivă.

Pentru stabilirea stării de tensiune din interiorul zonei de curgere, plecînd de la ecuația de echilibru în mediile clastice și aplicînd *funcțiile Ery* au fost stabilite relațiile:

$$\sigma_r = p_i\left(\frac{r}{a}\right)^{j-1};$$

$$\sigma_\theta = j\,\sigma_r = j\cdot p_i\left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} \qquad (3,20)$$

Din examinarea stărilor de tensiune (fig. XVI.58), se constată că tensiunile radiale și cele tangențiale din interiorul zonei de curgere nu depind de adîncimea la care se găsește punctul studiat și nici de greutatea specifică aparentă a rocilor.

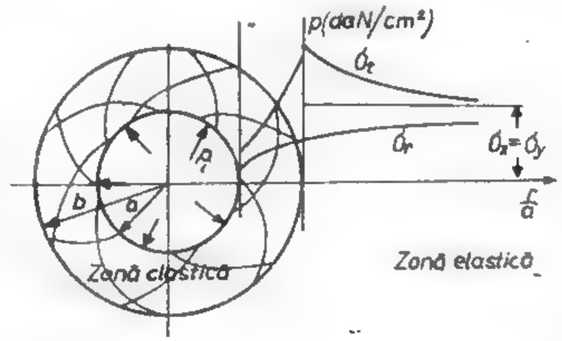


Fig. XVI.58. Starea de tensiune în jurul unei lucrări verticale de secțiune circulară executată în roci elasto-clastice.

În exteriorul zonei de curgere, tensiunile au valorile:

$$\sigma_r = i\cdot\gamma_a\cdot H\left[1-\frac{b^2}{r^2}\sin\varphi\right];$$

$$\sigma_t = i\cdot\gamma_a\cdot H\left[1+\frac{b^2}{r^2}\sin\varphi\right]; \qquad (3.21)$$

$$i = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$$

Din aceste relații rezultă că tensiunile din exteriorul zonei de curgere depind de adîncime și de greutatea pecifică aparentă. Ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, și aici se formează cele trei zone.

Mărimea razei (b) a zonei de tensiuni reduse se determină din relația:

$$b = a\sqrt[j-1]{\frac{1-\sin\varphi}{j}\cdot\frac{\gamma_a H}{\sigma_{ra}}} \qquad (3.22)$$

Pe baza unor considerații teoretice, s-a ajuns la concluzia că un puț vertical executat în roci clastice sau cu coeziune mică va continua să fie stabil dacă după formarea zonei de curgere este îndeplinită condiția:

$$\sigma_{ra} > \gamma_a\cdot a$$

Astfel, pentru un puț care are $a = 3$ m, fiind executat într-o rocă cu $\gamma_a = 2{,}4\cdot 10^4$ N/m³, relația devine:

$$\sigma_{ra} > 2{,}4\cdot 3 = 0{,}72 \text{ daN/cm}^2.$$

Această condiție poate fi realizată ușor în practică chiar cu o susținere de mică rezistență.

Cînd lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are o coeziune mică și cînd tensiunea tangențială întrece ca valoare rezistența de rupere la compresiune a rocilor, formîndu-se zona sfărîmată, zonă în care rocile mai posedă o oarecare coeziune — legătura între tensiuni este dată de L a b a s s sub forma :

$$\frac{\sigma_\theta + c \operatorname{ctg} \varphi}{\sigma_r + c \operatorname{ctg} \varphi} = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = j$$

Expresiile tensiunilor în zona de curgere au valorile :

$$\sigma_r = (p_i + c \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{j-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \qquad (3.23)$$

$$\sigma_\theta = j \cdot \sigma_r$$

De remarcat că ultimele relații sînt mult mai generale decît relațiile stabilite de *Fenner*, care dealtfel se obțin din acestea pentru $c = 0$.

3.2.2. STUDII ȘI CERCETĂRI NUMERICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR (METODA ELEMENTELOR FINITE)

Această metodă constituie un procedeu analitic nou prin care se pot rezolva în prezent multe probleme din domeniul mecanicii rocilor și implicit al mineritului.

Metoda are la bază principiul elementelor finite care, de fapt, constă în minimizarea, din aproape în aproape, a funcțiilor și extinderea metodei *Rayleigh-Ritz*. În principal desfășurarea soluționării constă din două probleme : 1) determinarea ecuației cu diferențiale parțiale și ; 2) minimizarea funcției. Aceste două probleme se rezolvă prin intermediul unui număr discret de valori asociate la un punct, *modul specific*, rezultat din divizarea unei regiuni sau suprafețe în o serie de elemente poligonale de diferite forme denumite *elemente* sau *celule*. Se consideră deci masivul de rocă heterogen ca fiind constituit dintr-un număr finit de elemente de formă triunghiulară articulate între ele în vîrfuri (fig. XVI.59). Din acest masiv preluăm un element finit de formă triunghiulară definit de valorile i, j, k, adică de o funcție aproximată prin trei valori nodale Φ_i, Φ_j, Φ_k de tip liniar în coordonate x și y ;

$$\Phi = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + C_i y) ; (a_j + b_j x + C_j y) ; (a_k + b_k x + C_k y)] \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix}$$

$$\text{unde :} \quad 2\Delta = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} = 2 \times \text{aria triunghiului } ijk.$$

și $a_i = x_k y_j - x_j y_k$; $b_i = y_k - y_i$; $C_i = x_j - x_k$;

$a_j = x_i y_k - x_k y_i$; $b_j = y_i - y_j$; $C_j = x_k - x_i$;

$a_k = x_j y_i - x_i y_i$; $b_k = y_j - y_k$; $C_k = x_i - x_j$;

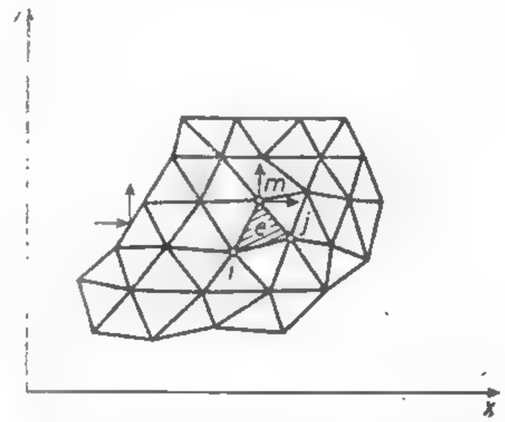


Fig. XVI.59. Structura plană divizată în triunghi.

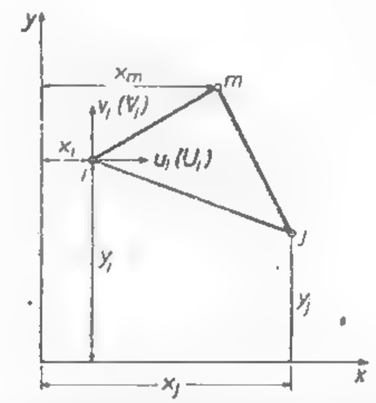


Fig. XVI.60. Triunghi elementar definit prin puncte nodale.

unde $x_i, x_j, x_k, y_i, y_j, y_k$ sînt coordonatele punctelor nodale ce definesc elementul triunghiular. Relația anterioară poate fi redată ca ecuație diferențială și sub forma :

$$\Phi = [N_i ; N_j ; N_k] \{\Phi^e\} = \{N(x ; y)\} \{\Phi^e\}$$

care după derivare se poate minimiza.

Mărimea unui element utilizat în modelarea problemelor prin procedeul elementului finit nu este arbitrar aleasă, ci ea corespunde sensului fizic ce dorim să-l modelăm. Fiecare element al modelului considerat poate fi identificat prin trei puncte nodale i, j, k numerotate în sens invers acelor de ceasornic și localizat prin coordonatele de poziție (fig. XVI.60) :

$$i(x_i ; y_i) ; j(x_j y_j) : k(x_k y_k)$$

și de mărimi fizice ca : proprietățile fizico-mecanice, elastice și reologice ale rocii studiate. Toate aceste mărimi vor defini în primul rînd elementul e și, în final, întreaga structură printr-o funcție de deplasări (∂) ; de deformații (ε) ; de tensiunea (σ) de forțe nodale (F) și funcția de funcții care este soluția întregului ansamblu — masivul de rocă studiat, în contextul fenomenului analizat. Astfel, pentru cazul rețelelor de tip triunghiular, funcțiile deplasării se pot reda sub forma polinoamelor de tipul :

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \qquad (3.24)$$

$$v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y.$$

unde $\alpha_1, \ldots \alpha_6$ sînt parametrii de liniarizare constanţi pentru un element. Deci :

$$u_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i \; v_i = \alpha_4 + \alpha_5 x_i + \alpha_6 y_i$$

$$u_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j \; v_j = \alpha_4 + \alpha_5 x_j + \alpha_6 y_j$$

$$u_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k \; v_k = \alpha_4 + \alpha_5 x_k + \alpha_6 y_k$$

Adică :

$$\{\partial\}^e = [A]\{\alpha\}$$

Funcţia deformaţiilor se poate reda prin intermediul deplasărilor sub forma :

$$\{\varepsilon\}^e = [B]\{\partial\}^e \tag{3.25}$$

unde : $\{\varepsilon\}^e$ este vectorul componentelor deformaţiei unui element $\{\varepsilon_x ; \varepsilon_y ; \gamma_{xy}\}$
$\{\partial\}^e$ — vectorul deplasărilor nodale pentru acelaşi element $\{u_i ; u_j ; u_k \; v_i \; v_j \; v_k\}$

În conformitate cu legea constitutivă considerată, în cazul de faţă *legea lui Hooke*, tensiunile într-un element devin :

$$\{\sigma\}^e = [D]\{\varepsilon\}^e$$

sau :

$$\{\sigma\}^e = [D][B]\{\partial\}^e \tag{3.26}$$

Forţele nodale pot fi calculate din coordonatele tensiunilor prin intermediul expresiei :

$$\{F\}^e = [C]\{\sigma\}^e \tag{3.27}$$

Combinînd ecuaţiile de mai sus se obţine :

$$\{F\}^e = [K]^e\{\partial\}^e \tag{3.28}$$

unde $[K]^e$ reprezintă matricea de rigiditate a unui element

$$[K]^e = [C][D][B] \tag{3.29}$$

$[C]$ — este o matrice cu 6 rînduri şi trei coloane, în general transpusa lui $[B]$, adică $[B]^T$ şi ea depinde de forma şi orientarea elementului.

Pentru o reţea întreagă de n elemente finite, relaţia devine :

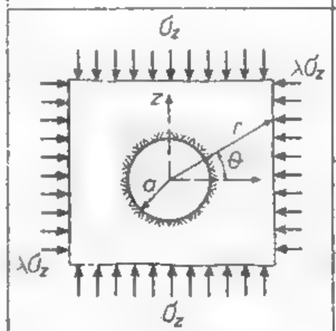
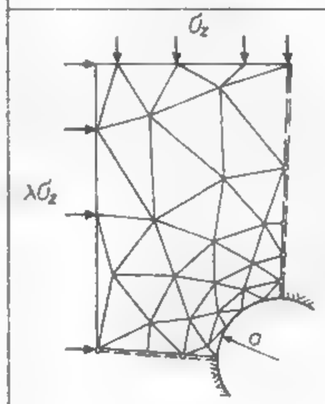
$$F = [K_n]\{\partial\}^e \tag{3.30}$$

unde $[K_n]$ este $n \cdot n$ matrici ca matrice de matrici a întregului sistem considerat. În baza ultimei expresii şi utilizînd principiul lucrului mecanic, virtual se pot determina forţele F după care problema este rezolvată, obţinîndu-se, conform relaţiilor anterioare, starea de tensiune-deformare căutată. Se dă spre exemplificare şi comparativ cu soluţia clasică (*relaţiile lui Fenner* pentru starea de tensiune-deformare a rocilor din jurul unei lucrări miniere orizontale de formă circulară executată într-un masiv elastic omogen şi izotrop) rezultatele obţinute prin metoda elementului finit (tabelul XVI.27).

Deci în metoda elementului finit pentru rezolvarea unei probleme se parcurg următoarele etape :

1) schematizarea mediului — masivul este înlocuit cu un ansamblu de elemente finite cu proprietăţi interconectate în noduri ;

Tabelul XVI.27 Compararea valorilor obţinute prin metoda clasică şi prin metoda elementelor finite

	VALOAREA COMPONENTELOR DE TENSIUNE SECUNDARĂ PLANĂ ŞI A DEPLASĂRII ÎN CAZUL UNEI LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE DE FORMĂ CIRCULARĂ					
	Pentru o stare primară de tensiune monoaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda\sigma_z = 0$			Pentru o stare primară de tensiune biaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda\sigma_z$ şi $\sigma_z = \gamma_0 H$		
	Tensiunea radială pentru $r=a$ σ_r [MPa]	Tensiunea tangenţială pentru $r=a$ σ_θ [MPa]	Deplasarea radială u_r [m]	Tensiunea radială pentru $r=a$ σ_r [MPa]	Tensiunea tangenţială pentru $r=a$ σ_θ [MPa]	Deplasarea radială u_r [m]
	METODA CLASICĂ					
	θ=0 0	-21	0,010	θ=0 0	-14	-0,0203
	θ=90° 0	7	0,0305	θ=90° 0	-14	-0,0203
	METODA ELEMENTULUI FINIT					
	θ=0 -0,924	-20,951	0,0116	θ=0 -1,302	-14,28	-0,0202
	θ=90° -0,434	6,727	0,032	θ=90° -1,302	-14,28	-0,0202
	DATELE PROBLEMEI $\sigma_z = 7$ MPa $E = 7000$ MPa $\mu = 0,25$ $a = 1,5$ m					

2) se stabilesc rigidităţile fiecărui element, respectiv deplasările care apar în noduri cînd se aplică în acestea o forţă exterioară. Comportamentul fiecărui element trebuie să aproximeze cît mai bine comportamentul porţiunii de masiv pe care o înlocuieşte ;

3) se reconsideră masivul, legînd între ele elementele finite în care a fost împărţit. Legăturile se fac în noduri şi constau în scrierea unei condiţii de echilibru — forţele în nod trebuie să fie nule, adunîndu-le din toate elementele concurente în nodul respectiv ;

4) în acest nod se obţine un sistem de $2n$ ecuaţii (n = numărul nodurilor) cu $2n$ necunoscute ($2n$ = numărul deplasărilor nodurilor). Ca termeni liberi vor figura forţele exterioare care se aplică în nodurile respective ;

5) rezolvînd sistemul se obţin deplasările întregii structuri şi apoi pe baza lor se pot stabili uşor deformaţiile şi eforturile.

Marele avantaj al metodei este faptul că funcţiile cu care se aproximează comportarea reală a masivului sînt simple, ele putînd avea valori diferite de la element la element. Deci se poate impune fiecărui element o comportare proprie funcţie de caracteristicile rocii, aplicînd în calcule caracterul anizotrop şi heterotrop al rocii, adică heterogenitatea masivului, diferenţele între caracteristicile elastice, comportamentul neliniar sau plastic modul diferit de curgere etc. În cazul unui proces de plastifiere de exemplu, rînd pe rînd elementele în care a fost depăşită limita elastică se vor comporta plastic, compatibilitatea ansamblului fiind asigurată de rezolvarea simultană a sistemului de ecuaţii. Tot acest calcul este realizat de calculator; un program de element finit odată pus la punct poate rezolva probleme foarte variate, doar prin modificarea datelor şi aplicarea anumitor restricţii. Un calcul prin metoda elementului finit face azi posibilă interpretarea justă a comportării în timp a excavaţiilor miniere.

3.2.3. STUDII ŞI CERCETĂRI EFECTUATE PRIN METODA OPTICĂ

Pentru determinarea stărilor de tensiune din jurul lucrărilor miniere, în special în cazul profilelor asimetrice, sau pentru cazul cînd aceste probleme nu pot fi studiate prin metodele matematice, se foloseşte metoda optică sub diferite forme.

Metoda optică polarizatoare. Această metodă, aplicată la lucrările miniere, este similară ca principiu cu metoda aplicată în studiul tensiunilor care apar în diferite organe de maşini.

Metoda constă din executarea, într-o placă de material optic activ (sticlă, celuloid, decorit) cu proprietăţi elastice, a formei secţiunii transversale a lucrării miniere care urmează a fi studiată. Plăcile din material optic activ sînt supuse la eforturi corespunzătoare adîncimilor din practică, pentru care se urmăreşte studiul repartizării tensiunilor.

Datorită eforturilor exterioare, se creează în placa de decorit o anumită stare de tensiuni, care depinde de forma profilului studiat. Această stare de tensiuni, care este caracterizată prin zone de compresiune şi zone de tracţiune, are ca urmare producerea în placa de material optic activ a unei schimbări a compactităţii acestui material şi anume, în zonele comprimate compactitatea devine mai mare, iar în zonele supuse la tensiuni de tracţiune compactitatea este mai mică.

La început, pe placa modelului, toate punctele în care nu există diferenţă între tensiunile principale apar întunecate, deoarece acolo nu are loc nici o întîrziere a componentei razei de lumină.

Aceste puncte, de acelaşi ordin al tonalităţii culorii şi care sînt caracterizate prin aceeaşi diferenţă de tensiuni principale, se prezintă pe imaginea fotografică unite între ele sub forma unor linii curbe, continui, de culoare închisă, numite *curbe de tensiuni egale*. Liniile de diferite ordine sînt separate între ele prin fîşii luminoase.

Rezultatele cercetărilor întreprinse prin metoda optică polarizată sînt redate sub formă de fotografii şi de grafice ale stărilor de tensiune în fig. XVI.61.

Metoda optică cromatică. Este asemănătoare metodei precedente, cu deosebirea că în acest caz se foloseşte ca material optic activ igdantina, iar solicitarea este realizată prin greutate proprie. Liniile de tensiuni egale poartă numele de *izocrome*.

Procedeul descris se referă la starea plană de solicitare. Cînd excavaţiile subterane prezintă forme complicate, poate fi aplicată fotoelasticitatea spaţială prin metoda fixării deformaţiei modelului — *procedeul îngheţării tensiunilor*.

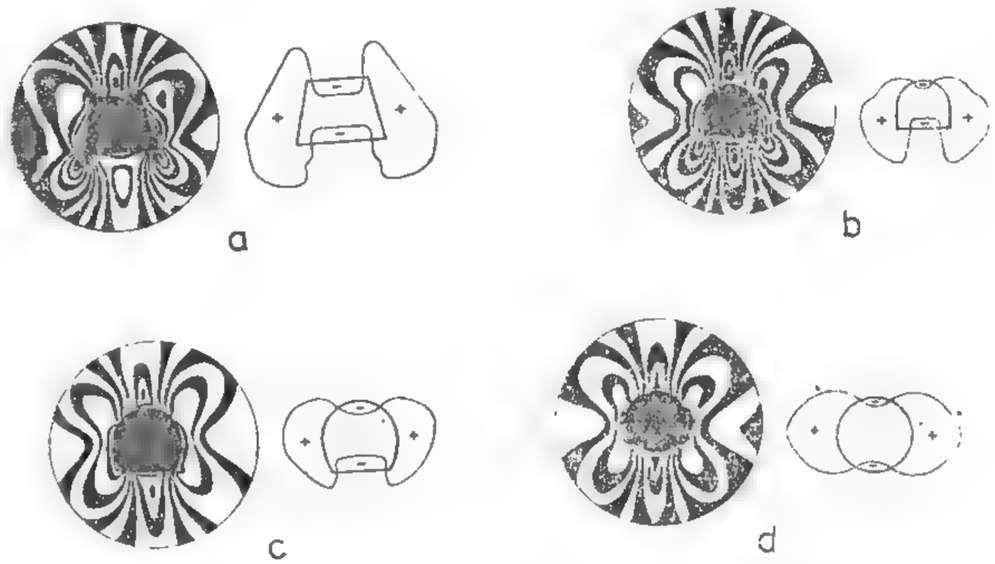


Fig. XVI.61. Repartizarea tensiunilor în jurul unor lucrări miniere orizontale de diferite forme ale secţiunilor transversale (după Dorstewitz):
a — trapezoidală; *b* — boltită; *c* — potcoavă; *d* — circulară.

3.2.4. STUDIUL TENSIUNILOR ŞI A REPARTIZĂRII ACESTORA PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

Metodele analitice folosite în analiza stărilor de tensiuni sînt limitate la anumite forme de profile, iar metodele elementelor finite necesită calculatoare cu performanţe ridicate majorînd mult costul. În foarte multe cazuri, analiza experimentală a stării de tensiune devine singura metodă posibilă de aplicat, avînd o eficienţă ridicată într-un timp relativ redus.

Măsurarea tensiunilor în masiv poate fi realizată prin:

1) metoda descărcării de tensiuni a masivului de rocă, 2) metoda găurilor de mină şi 3) metode bazate pe studiul propagării undelor.

Metoda descărcării rocilor de tensiuni poate fi analizată prin:

— procedeul restabilirii stării iniţiale de tensiuni;
— procedeul descărcării parţiale de tensiuni;
— procedeul descărcării totale de tensiuni.

Procedeul restabilirii stării iniţiale de tensiuni. Acest procedeu are la bază ideea readucerii rocii în prealabil decomprimate, printr-un făgaş sau gaură de sondă, la starea iniţială de compresiune, cu ajutorul unei aparaturi adecvate, a cărei presiune se poate măsura.

Procedeul implică efectuarea următoarelor operaţii:

— în prima fază, pe peretele intact al lucrării subterane, adică înainte de executarea făgaşului sau a găurii de sondă, se montează aparate cu coarde vibratorii, determinîndu-se tonalitatea acestora (denumită *tonalitate iniţială*);

— în faza a doua, pe porțiunea de cercetat a peretelui galeriei, se execută un făgaș plan sau o gaură de sondă (după procedeul de lucru ales), care dă posibilitate rocii să se destindă elastic, suferind deformații ce se pot măsura;

— în faza a treia, în interiorul făgașului se introduce o presă plată, iar în gaura de sondă cu diametrul de 250 mm un dispozitiv constînd din patru cricuri independente tip *Freyssinet*. Presa plată este fixată în interiorul făgașului cu mortar de ciment (fig. XVI.62).

Pentru găurile de sondă, aparatul nu are nevoie de cimentare, el fiind fixat pe pereți prin simpla creștere a presiunii în cricurile respective.

Operația din această fază de lucru constă în punerea sub presiune a cricurilor pînă cînd roca înconjurătoare făgașului sau găurii desondă ajunge în starea de comprimare inițială, ceea ce se constată prin faptul că toate aparatele cu coarde vibrante revin la tonalitatea lor inițială. Metoda a fost folosită la stabilirea stării de tensiune la I. M. Șuior — Baia Mare.

Procedeul descărcării parțiale de tensiuni. Procedeul constă în folosirea a trei extensometre dispuse după laturile unui triunghi echilateral cu laturile de 200 mm, în centrul căruia se forează o gaură de mînă cu diametrul de 56 mm sau mai mare (fig. XVI.63).

Gaura servește ca spațiu de destindere a rocii comprimate natural, iar deformațiile sînt înregistrate de microcomparatoarele extensometrelor. Datorită dimensiunii relativ mici a găurii de mînă, executarea acesteia nu poate produce fisuri în masa rocii care se

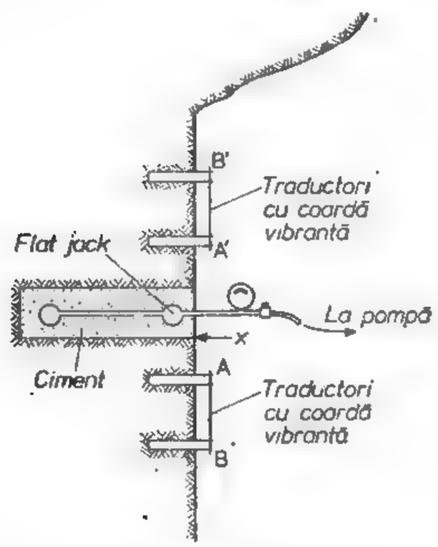


Fig. XVI.62 Procedeul restabilirii tensiunilor inițiale.

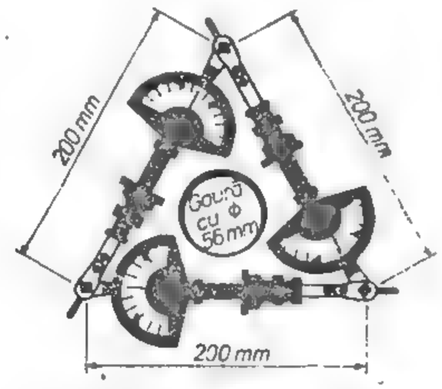


Fig. XVI.63. Procedeul descărcării parțiale de tensiuni.

cercetează. Rezultatele obținute au valcare locală și nu pot fi generalizate pentru întreaga lucrare subterană. Pentru a avea rezultate cît mai concludente este necesar să se efectueze cît mai multe măsurători în locuri cît mai diferite și pe ambii pereți ai lucrării.

Procedeul descărcării totale de tensiuni. Procedeul descărcării totale se bazează pe îndepărtarea completă a stării de tensiune-deformare existentă în masiv în faza inițială, măsurarea deformațiilor putîndu-se realiza fie pe pereții laterali ai găurii de mînă, fie pe fundul acesteia.

Măsurarea deformațiilor pereților laterali se realizează cu ajutorul unui *deformometru* (fig. XVI.64), iar măsurarea deformațiilor pe fundul găurii de mină se realizează fie cu ajutorul mărcilor tensometrice (fig. XVI.65), fie prin fotoelasticitate (fig. XVI.66).

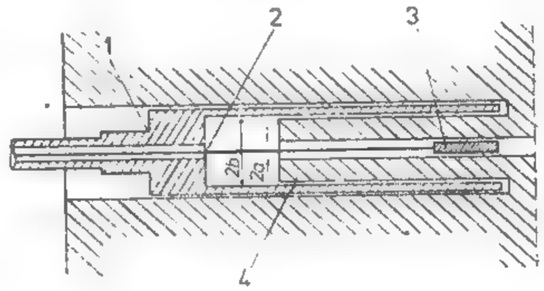


Fig. XVI.64. Modul de realizare a simburelui de rocă în procedeul descărcării totale de tensiuni:

1 — coroană rotativă de forare; *2* — axul aparatului de măsurare a deformațiilor; *3* — deformometru; *4* — nucleul de rocă eliberată de tensiune.

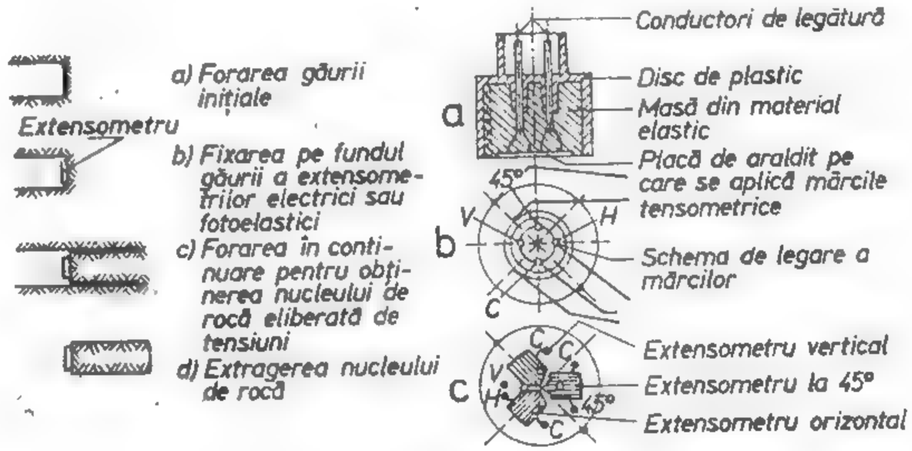


Fig. XVI.65. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurii prin:

a — capul dispozitivului cu ajutorul căruia se fixează mărcile tensometrice pe fundul găurii; *b* — schema electrică de legare a mărcilor tensometrice; *c* — amplasarea mărcilor tensometrice pe fundul găurii.

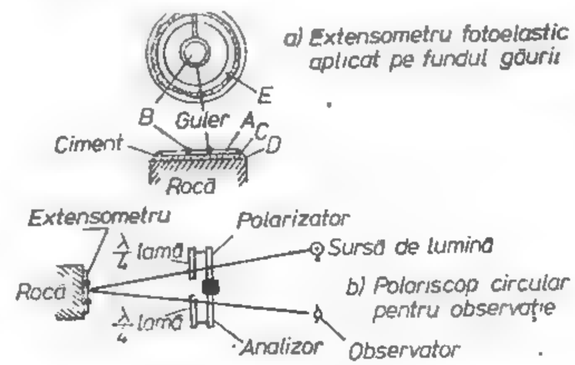


Fig. XVI.66. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurilor după procedeul lui Howkes.

Metoda găurilor de mină este asemănătoare celei precedente. Metodele bazate pe studiul propagării undelor au fost tratate anterior. Cele mai bune rezultate în studiul tensiunilor le dau metodele care rezultă din combinarea metodelor teoretice cu verificarea practică a acestora.

3.3. PRESIUNEA ROCILOR ÎNCONJURĂTOARE ASUPRA EXCAVAŢIILOR MINIERE SUBTERANE

Presiunea minieră reprezintă totalitatea forţelor generate de redistribuirea stării iniţiale de tensiune din masivul deranjat în urma executării lucrărilor miniere, forţe sub a căror acţiune are loc deformare şi deplasarea rocilor înconjurătoare. Această presiune acţionează asupra lucrărilor miniere de deschidere şi pregătire.

În cazul în care, datorită excavaţiei subterane masele de roci se pun în mişcare, presiunea exercitată de masa mobilă a acestor roci nu mai are un caracter static, ci dinamic, motiv pentru care această presiune este denumită *presiune litodinamică*. Presiunea litodinamică interesează atît la dimensionarea lucrărilor de deschidere şi pregătire, cît mai ales la clarificarea problemelor referitoare la dirijarea presiunii în cazul metodelor de exploatare, unde frontul de abataj este în continuă mişcare.

După *P. M. Ţimbarevici*, presiunea litostatică primară şi cea secundară sau stabilizată sînt diferite pentru diversele categorii de roci (fig. XVI.67).

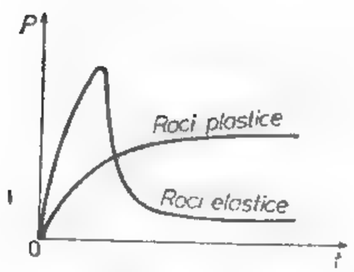


Fig. XVI.67. Reprezentarea presiunii litostatice primare şi secundare asupra unei galerii în funcţie de timp (după P. M. Ţimbarevici).

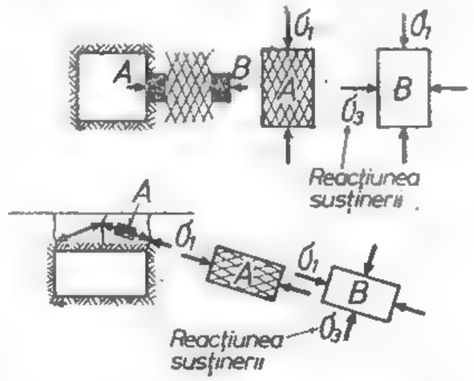


Fig. XVI.68. Formarea fisurilor în pereţii şi tavanul unei galerii şi efectul susţinerii.

Pentru ilustrarea modului de manifestare a presiunii, se consideră o excavaţie subterană (fig. XVI.68) de formă pătrată şi un element *A* care se află pe peretele lateral al lucrării.

Datorită concentrării tensiunilor, presiunea care va acţiona asupra elementului după direcţia *z* va fi cu ceva mai mare decît σ_z.

Dacă se notează presiunea maximă de compresiune cu σ_1 şi reacţiunea susţinerii cu σ_3, se va putea scrie ecuaţia de stabilitate a unui element sub forma:

$$\sigma_1 = 2c \cdot \frac{\cos\varphi}{1 - \sin\varphi} + j\,\sigma_3. \tag{3.31}$$

După cum se ştie, la marginea excavaţiei $\sigma_3 = 0$, în care caz:

$$\sigma_1 = 2c \frac{\cos\varphi}{1 - \sin\varphi} \tag{3.32}$$

Pentru un unghi de frecare interioară $\varphi = 37°$, se obţine:

$$\sigma_1 = 4c.$$

Dacă $\sigma_1 < 4c$, adică tensiunea de compresiune depăşeşte rezistenţa rocii, fisurarea de forfecare se va extinde pînă la elementul *B*, unde se presupune că se dezvoltă o tensiune naturală σ_3, suficient de mare pentru a opri fisurarea de forfecare.

În acest caz:

$$\sigma_1 = 4c + 4\sigma_3. \tag{3.33}$$

Rolul tensiunii laterale naturale poate fi jucat de susţinere. Astfel, prin montarea unei susţineri cu o reacţiune σ_3, rezistenţa la forfecare a rocii creşte de la $4c$ pînă la $4c + 4\sigma_3$ — pentru $\varphi = 37°$. Mărimea reacţiunii susţinerii poate fi stabilită pentru fiecare caz în parte în funcţie de natura rocilor şi de modul de comportare a acestora. Situaţia este similară şi pentru tavanul lucrării, unde prin aplicarea unei susţineri cu reacţiunea σ_3 se evită formarea fisurilor de întindere, realizîndu-se astfel condiţia de stabilitate necesară.

În cazul cînd presiunile care acţionează asupra lucrării miniere întrec rezistenţa rocilor — lucrarea minieră fiind nesusţinută, sau dacă susţinerea cedează foarte mult — se formează în jurul lucrări miniere o serie de fisuri de forfecare (fig. XVI.69), care se extind pînă cînd tensiunile naturale orizontale vor fi capabile să oprească forfecarea. Pentru o lucrare minieră cu secţiunea pătrată, fisurarea începe de la colţuri spre tavan şi pereţii laterali, această lucrare tinzînd în primă fază să devină o lucrare minieră circulară (fig. XVI.69, *b*), fisurarea continuînd apoi ca şi pentru cazul lucrării miniere circulare (fig. XVI.69, *a*).

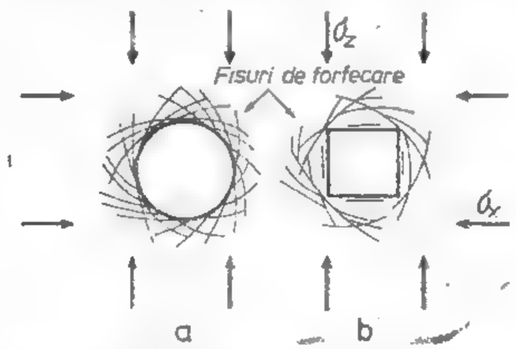


Fig. XVI.69. Formarea fisurilor de forfecare în jurul unei galerii:

a — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secţiune circulară; *b* — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secţiune pătrată.

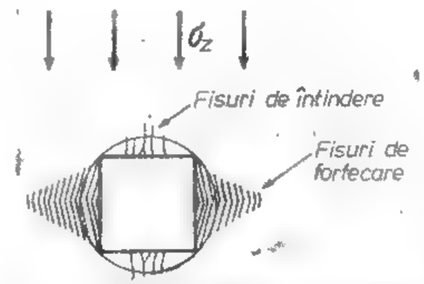


Fig. XVI.70. Formarea fisurilor de forfecare şi de întindere la o galerie orizontală.

Direcția fisurilor de forfecare formează un unghi de $45° + \frac{\varphi}{2}$, cu o rază aleasă în acest punct.

Cînd asupra lucrării acționează numai tensiuni verticale, pe lîngă fisurile de forfecare se vor produce în tavanul și vatra lucrării miniere și fisuri de întindere care, așa după cum se știe, sînt foarte periculoase (fig. XVI.70). Studiul presiunilor poate fi realizat prin metode teoretice, prin măsurători directe sau prin metoda materialelor echivalente

3.3.1. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE ORIZONTALE

3.3.1.1. Presiunea din tavan

Totalitatea ipotezelor referitoare la mărimea presiunii rocilor din tavanul lucrări miniere orizontale pot fi împărțite în două mari grupe și anume:

— ipoteze care consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere acționează întreaga greutate a coloanei stratigrafice de rocă pînă la suprafață*;

— ipoteze care iau în considerare *formarea unei bolți de echilibru natural*.

Pentru ambele grupe au fost create atît ipoteze simplificate, care consideră presiunea rocilor ca o mărime ce nu depinde de susținere, cît și ipoteze care consideră presiunea ca rezultat al interacțiunii dintre susținere și rocile înconjurătoare.

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este dependentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Aceste ipoteze sînt create în special pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață, fiind mult folosite în cazul tunelurilor. Din multitudinea de ipoteze care fac parte din această grupă, aici vor fi tratate doar cîteva dintre cele mai reprezentative, pentru cazul rocilor pămîntoase lipsite de coeziune sau cu coeziune mică, cît și pentru cazul rocilor coezive.

Roci fără coeziune sau cu coeziune mică. Ipoteza se bazează pe împingerea activă asupra zidurilor de sprijin. Conform acestei ipoteze, se consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere de orice formă geometrică acționează greutatea coloanei de roci care se găsesc deasupra lucrării pînă la suprafață, mai puțin valoarea împingerii active a celor două prisme care se formează prin săparea lucrării miniere* (fig. XVI.71) rezultînd:

$$P_v = Q - 2D \operatorname{tg} \varphi, \tag{3.34}$$

De aici:

$$P_v = \gamma_a H \left[2a - H \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi \right] \quad [\mathrm{daN/cm^2}] \tag{3.35}$$

Pentru ca rocile să se găsească în echilibru sau, cu alte cuvinte, pentru ca asupra lucrării miniere să nu acționeze nici un fel de presiune, este necesar ca greutatea coloanei de roci care acționează asupra lucrării să fie preluată de împingerea provocată de cele două prisme laterale care se formează, adică:

$$Q = 2D \operatorname{tg} \varphi$$

sau:

$$2aH\gamma_a = \gamma_a H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi$$

de unde:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} \quad [\mathrm{m}] \tag{3.36}$$

Aceasta este adîncimea pînă la care ipoteza — în condițiile enunțate — este valabilă. În general, această ipoteză este valabilă pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață. Astfel dacă se consideră: $2a = 4$ m și $\varphi = 40°$ rezultă:

$$H = \frac{4{,}0}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{90° - 40°}{2} \right) \operatorname{tg} 40°} \cong 22 \text{ m}$$

Cu alte cuvinte, dacă lucrarea este amplasată la o adîncime mai mare de 22 m, această ipoteză nu mai este aplicabilă, fiind necesară aplicarea unei ipoteze din grupa celor care consideră formarea unor bolți de echilibru natural.

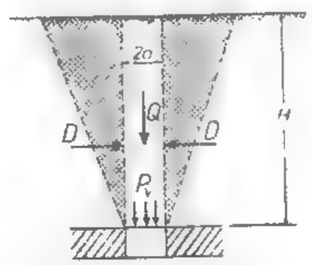


Fig. XVI.71. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile fără coeziune.

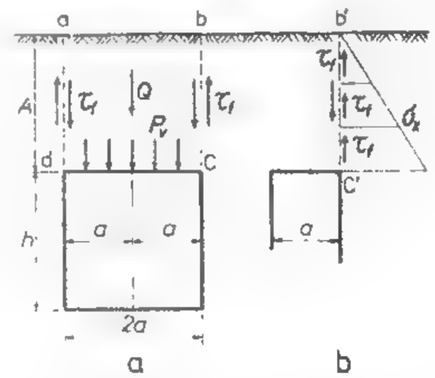


Fig. XVI.72. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile coezive:
a — schema generală de calcul a presiunii;
b — formarea tensiunilor laterale datorită tensiunilor de forfecare.

Astfel, pentru o lucrare minieră cu lățimea $2a = 2$ m, săpată la adîncimea de 10 m, într-o formațiune de roci cu $\varphi = 40°$; $\operatorname{tg} \varphi = 0{,}84$; $f = 2$ și $\gamma_a = 1{,}8 \cdot 10^4$ N/m³, adîncimea de la care în jos se formează bolți de echilibru natural va fi:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{(90° - \varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} = \frac{2}{\operatorname{tg}^2 25° \cdot \operatorname{tg} 40°} \cong 11 \text{ m}$$

Roci coezive. Aici fiind vorba de roci coezive, se va lua în considerare tensiunea de forfecare după planurile *ad* și *bc* (fig. XVI.72), rezultînd:

$$P = Q - 2\tau \tag{3.37}$$

Pentru rocile argiloase care au coeziune dar nu au frecare interioară rezultă:

$$P = 2H\,(a\gamma_a - c). \tag{3.38}$$

În condițiile de echilibru:

$$a \cdot \gamma_a \leqslant c \tag{3.39}$$

Dacă lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are atît coeziune cît și frecare interioară, se obține:

$$P_v = 2H\left[a\gamma_a - \left(c + \frac{1}{2}\sigma_x \operatorname{tg}\varphi\right)\right] \tag{3.40}$$

În condiții de echilibru:

$$a \cdot \gamma_a \leqslant \left(c + \frac{1}{2}\sigma_x \operatorname{tg}\varphi\right) \tag{3.41}$$

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare minieră cu $2a = 4$ m a fost săpată la adîncimea $H = 10$ m, într-o argilă saturată, cu $c = 0{,}25$ daN/cm² și $\gamma_a = 1{,}7 \cdot 10^4$ N/m³. În acest caz:

$$P_v = 2aH \cdot \gamma_a - 2cH$$

sau $P_v = 400 \cdot 1000 \cdot 0{,}0017 - 2 \cdot 0{,}25 \cdot 1000 = 180$ daN/cm $= 0{,}45$ daN/cm², iar: $c < a \cdot \gamma_a$, adică $0{,}25 < 0{,}34$ și, în acest caz, lucrarea minieră trebuie susținută.

Dacă se va micșora lățimea lucrării miniere de la 400 cm la 280 cm: $c > a \cdot \gamma_a$, adică $0{,}25 > 0{,}24$, caz în care lucrarea minieră va fi în echilibru, fără a avea nevoie de susținere. Este evident faptul că valoarea presiunii calculate este mărimea care acționează asupra susținerii imediat după săparea lucrării miniere. După o perioadă mai îndelungată de timp — fiind vorba aici de argile saturate — presiunea va crește treptat pînă la valoarea greutății coloanei de rocă care se găsește deasupra lucrării. Faptul că presiunea maximă se dezvoltă după o perioadă mai îndelungată de timp, permite folosirea în faza inițială a unei susțineri provizorii mai ușoare, aceasta fiind urmată de o susținere definitivă cu portanță sporită.

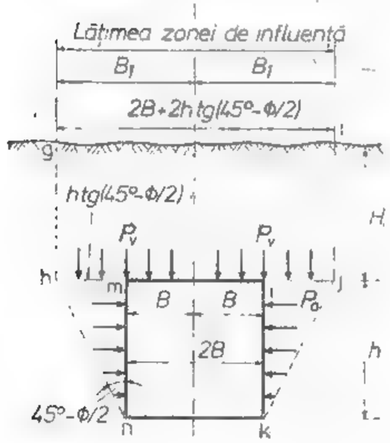


Fig. XVI.73 Schema de calcul a presiunii pentru rocile granulare (după K. V. Terzaghi).

K. V. Terzaghi, plecînd de la ipoteza lui *Iannsen* și *Bin*, consideră că în cazul materialelor granulare care mai posedă și o oarecare coeziune

(fig. XVI.73), presiunea poate fi stabilită cu relația:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \dfrac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg}\varphi}\left[1 - e^{-K \operatorname{tg}\varphi \frac{H}{B_1}}\right] \quad [\text{daN/cm}^2] \tag{3.42}$$

în care:

$$B_1 = B + h \operatorname{tg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \tag{3.43}$$

K — coeficient care variază de la valoarea unitară, pentru mijlocul susținerii, la 1,5 pentru cele două limite laterale.

Dacă H/B este mare, valoarea termenului exponențial se apropie de zero și formula devine:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \dfrac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg}\varphi}. \tag{3.44}$$

Această relație poate fi aplicată cînd $H/B = 4-5$, adică atunci cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mai mare de cel puțin 2—3 ori lățimea lucrării.

Cînd $c \geqslant B_1 \cdot \gamma_a$, presiunea verticală asupra susținerii va fi egală cu zero, adică lucrarea minieră se va autosuține.

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare cu $B = 200$ cm și $h = 360$ cm este săpată într-o rocă granulată cu $\varphi = 37°$;

$$\gamma_a = 0{,}0016 \text{ daN/cm}^3 \text{ și } c = 0$$

În acest caz:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \dfrac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg}\varphi} = 380 \frac{0{,}0016 - \dfrac{0}{380}}{1 \cdot 0{,}75} = 0{,}8 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă roca va poseda o coeziune de $c = 0{,}25$ daN/cm², vom avea:

$$P_v = 380 \frac{0{,}0016 - \dfrac{0{,}25}{380}}{1 \cdot 0{,}75} = 0{,}5 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentu acest caz:

$$B_1 \gamma_a > c, \text{ adică } 0{,}6 > 0{,}25$$

Pentru ca lucrarea minieră să se autosustină este necesar ca roca să posede o coeziune de cel puțin 0,6 daN/cm².

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este independentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Din această grupă fac parte mai multe ipoteze care sînt asemănătoare între ele:

Astfel, W. Ritter consideră că în tavanul lucrării miniere se formează o boltă de echilibru închisă de o curbă de ecuație (fig. XVI.74):

$$y = \frac{\gamma_a \cdot x}{4\,\sigma_t} \cdot (d - x) \tag{3.45}$$

În consecință presiunea care va acționa asupra tavanului va fi dată de greutatea rocilor din interiorul bolții (pentru o lungime pe direcție de 1 m), mai puțin forțele de coeziune ale rocii care se manifestă ca rezistențe la tracțiue, rezultînd:

$$P_v = \theta - D \tag{3.46}$$

După efectuarea calculelor se obține:

$$P_v = Q - D = \gamma_a \cdot d \left(\frac{\gamma_a d^2}{48\,\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \right) \quad [\text{daN/cm}^2] \tag{3.47}$$

Dacă $P_v < 0$, asupra tavanului lucrării miniere nu va exista presiune, deoarece greutatea rocii în acest caz este mai mică decît coeziunea rocii respective.

Dacă însă $P > 0$, atunci lucrarea minieră trebuie susținută. Această ipoteză dă rezultate satisfăcătoare la dimensionarea camerelor de exploatare la minele de sare. În general, ea este aplicabilă rocilor coezive.

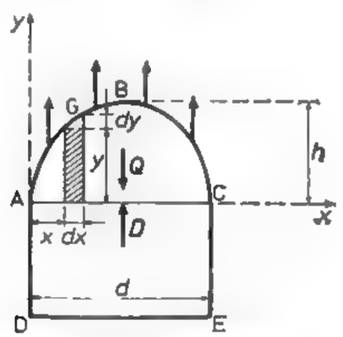


Fig. XVI.74. Schema de calcul a presiunii (după W. Ritter).

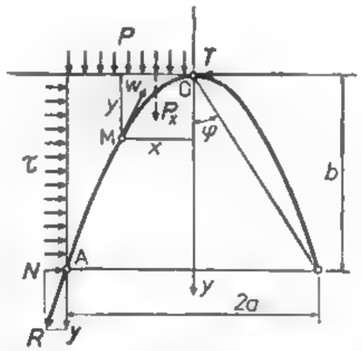


Fig. XVI.75. Formarea bolții de echilibru deasupra tavanului unei lucrări miniere orizontale (după M. M. Protodiakonov).

M. M. Protodiakonov consideră că în tavanul lucrării se formează o boltă parabolică de echilibru (fig. XVI.75):

$$y = \frac{Px^2}{2T} \tag{3.48}$$

Datorită tensiunilor, rocile din interiorul bolții sînt sfărîmate, acționînd cu greutatea lor asupra susținerii, rezultînd:

— pentru cazul rocilor tari $P_{min} = \dfrac{\gamma_a a^2}{f}$ [daN/cm²) (3.49)

— pentru cazul rocilor moi $P_{max} = \dfrac{4}{3}\,\dfrac{\gamma_a \cdot a^2}{f}$ [daN/cm²) (3.50)

Presupunînd că asupra tavanului acționează presiunea reală P, rezultă:

$$P_{max} > P > P_{min} \tag{3.51}$$

Pentru roci moi: $P > \dfrac{P_{max} + P_{min}}{2}$

Pentru roci tari $P < \dfrac{P_{max} + P_{min}}{2}$

Pentru roci cu tărie medie $P = \dfrac{P_{max} + P_{min}}{2}$

Protodiakonov a stabilit și adîncimea de la care formulele sale devin aplicabile și anume:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2\left(\dfrac{90^\circ - \varphi}{2}\right) \operatorname{tg} \varphi} \tag{3.52}$$

Datorită ușurinței de calcul cu relațiile lui Protodiakonov, acestea sînt foarte des întîlnite în practică, fiind folosite la proiectarea lucrărilor miniere.

Astfel, dacă se consideră că într-o rocă cu $\gamma_a = 2{,}2 \cdot 10^4 \cdot \text{N/m}^3$ și $f = \operatorname{tg} \varphi = 3{,}5$ a fost săpată o lucrare minieră cu lățimea $2a = 4{,}5$ m, conform ipotezei lui Protodiakonov, presiunea maximă se determină cu relația:

$$P_{max} = \frac{4}{3}\,\frac{\gamma_a \cdot a^2}{f} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2{,}2 \cdot 2{,}2}{3{,}5} = 0{,}093 \text{ daN/cm}^2.$$

Înălțimea bolții de echilibru va fi:

$$h = \frac{a}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{2{,}25}{3{,}5} = 0{,}64 \text{ m}.$$

H. Labasse pornește de la considerentul că în rocile înconjurătoare lucrărilor miniere se formează trei zone:

— zona tensiunilor reduse, în care rocile datorită tensiunilor de pe contur se găsesc în stare plastică sau elastică;

— zona tensiunilor mărite;
— zona în care tensiunile se apropie de valoarea tensiunilor din masiv.

Pentru stabilirea presiunii care acționează asupra susținerii sau reacțiunea susținerii, în cazul cînd lucrarea minieră este săpată în roci elastice lipsite de coeziune, L a b a s s e pornește de la ecuația (3.18), de unde determină:

$$p = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} - \frac{3}{2}\,\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right]\cdot\cos\omega \qquad (3.53)$$

Dacă se analizează în mod separat fiecare termen al expresiei, notînd:

$$p = P_{tA} + P_{tB}$$

unde:

$$P_{tA} = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} \text{ și } P_{tB} = -\frac{3}{2}\,\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right]\cos\omega \qquad (3.54)$$

se vor putea desprinde o serie de concluzii și anume:

Prima expresie, adică P_{tA}, reprezintă mărimea tensiunilor radiale necesare pentru neutralizarea tensiunilor orizontale ale rocii și stabilirea echilibrului la limita zonei elastice. Ea nu depinde de unghiul ω, avînd aceeași valoare de jur-împrejurul lucrării (fig. XVI.76).

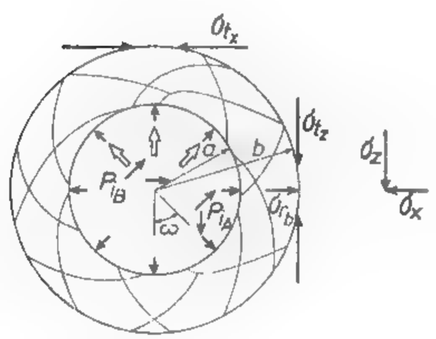


Fig. XVI.76. Modul de manifestare a presiunilor pe conturul lucrării orizontale circulare (după ipoteza lui Labasse).

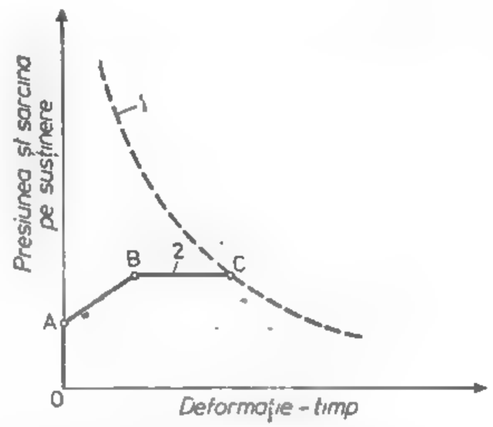


Fig. XVI.77. Interacțiunea dintre rocă și susținere după ipoteza lui Labasse:
1 — curba de relaxare a rocilor, respectiv curba de variație a presiunii în timp; *2* — curba caracteristică a susținerii, *OA* — sarcina de pretensionare; *AB* — deformația simultană a rocii și a susținerii; *BC* — prin depășirea portanței susținerii, aceasta cedează; *C* — starea de echilibru dintre rocă și susținere.

Expresia următoare P_{tB} definește valoarea presiunilor verticale, care variază în funcție de ω. Se observă că această valoare devine maximă pentru $\omega = 180°$ (unghiul se măsoară în sens invers acelor ceasornicului, pornind de la axa verticală orientată în jos).

Se constată că presiunea maximă va lua naștere la partea superioară (tavanul lucrării), descrescînd în mod corespunzător, astfel încît se va ajunge ca la extremitățile diametrului orizontal $\omega = 90°$ sau $270°$ aceasta să fie egală cu zero.

Pentru cazul cînd $b = a$, adică nu s-a produs nici o forfecare, iar limita zonei elastice coincide cu perimetrul orificiului, se observă că $P_B = 0$. În acest caz, asupra lucrării miniere nu vor mai acționa decît tensiunile radiale. Tot de aici se trage concluzia că presiunile verticale sînt date de greutatea rocii care se găsește în interiorul zonei elastice (zona sfărîmată), aceste presiuni fiind cu atît mai mari cu cît raza zonei elastice este mai mare.

Situația analizată ne arată că după săparea lucrării miniere roca se poate găsi într-o stare elastică — cînd nu se formează zona de rocă sfărîmată, sau într-o stare elasto-elastică — cînd are loc formarea acestei zone.

În concepția lui L a b a s s e, mecanismul interacțiunii dintre susținere și rocile încojurătoare — pentru cazul unei susțineri cu portanță controlată — este redat în fig. XVI.77.

Se constată, din această figură, că mărimea presiunii este influențată în mod direct de reacțiunea susținerii, de modul ei de comportare, de timpul scurs între procesul de săpare și cel de susținere etc.

Un caz frecvent întîlnit în subteran este acela cînd lucrarea minieră se sapă în argile saturate sau parțial saturate cu apă.

Argilele saturate sînt, în general, argile care nu au frecare interioară ($\varphi = 0$). Aceste argile, chiar după supunerea lor la forfecare, mai posedă o coeziune de pînă la 0,5 daN/cm², cedînd lent — asemănător cu un lichid viscos — sub acțiunea presiunii.

Cînd argilele nu sînt complet saturate, acestea mai posedă pe lîngă coeziune și frecare interioară.

Pentru studiul presiunii verticale, care acționează asupra tavanului unei lucrări miniere circulare executate în astfel de roci, C a q u o t și K e r i s e l au stabilit următoarea ecuație:

$$P_{tv} = \frac{\gamma_a \cdot H}{j-2}\left[\frac{a}{H} - \left(\frac{a}{H}\right)^{j-2}\right] - T\left[1-\left(\frac{a}{H}\right)^{j-1}\right] \qquad (3.55)$$

în care: $T = c \cdot \operatorname{ctg}\varphi$ și se determină din *cercul lui Mohr*.

Această ecuație prezintă două discontinuități și anume:

— pentru $\varphi = 20°$; $j - 2 = 0$. Ca atare, valoarea primului termen al ecuației este nedeterminată și ecuația devine:

$$P_{tv} = a \cdot \gamma_a \cdot 2{,}3 \cdot \log\frac{H}{a} - T\left[1-\left(\frac{a}{H}\right)^{j-1}\right]; \qquad (3.56)$$

— pentru $\varphi = 0°$; $j - 1 = 0$. Ca atare, termenul al doilea este nedeterminat și ecuația devine:

$$P_{tv} = a \cdot \gamma_a\left[\frac{H}{a} - 1\right] - 4{,}6\ c \cdot \lg\frac{H}{a} \qquad (3.57)$$

Pentru o interpretare corectă a relațiilo stabilite, în continuare se prezintă cîteva cazuri tipice.

Lucrare minieră săpată la adîncime mică în roci clastice. Dacă se pune problema determinării tensiunilor și mărimii presiunilor în jurul unei lucrări miniere orizontale cu secțiune circulară, săpată într-o rocă granulară lipsită de coeziune, pentru care se consideră că $\sigma_z > \sigma_x$ în următoarele condiții :

— greutatea specifică aparentă a rocilor $\gamma = 1{,}6 \cdot 10^4$ N/m³ ;
— raza lucrării $a = 150$ cm ;
— raza zonei clastice $b = 300$ cm ;
— adîncimea la care este amplasată lucrarea minieră $H = 3000$ cm ;
— unghiul de frecare interioară a rocilor $\varphi = 37°$, se obține :

$$j = 4;\ j - 1 = 3;\ j - 2 = 2;\ i = \frac{1}{4} = 0{,}25;$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0{,}0016 \cdot 3000 = 4{,}8 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_x = \sigma_y = i \cdot \sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4{,}8 = 1{,}2 \text{ daN/cm}^2.$$

În limita zonei clastice, la capetele celor două diametre, tensiunile se calculează cu relațiile :

$$\sigma_{tz} = 3\sigma_z - \sigma_x = 3 \cdot 4{,}8 - 1{,}2 = 13{,}2 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{tx} = 3\sigma_x - \sigma_z = 3 \cdot 1{,}2 - 4{,}8 = -1{,}2 \text{ daN/cm}^2;$$

Valoarea tensiunii tangențiale $\sigma_{tx} = -1{,}2$ daN/cm² reprezintă tensiuni de întindere. Datorită faptului că în rocile clastice, unde $c = 0$, nu pot exista tensiuni de întindere, tensiunile vor avea valoarea :

$$\sigma_{tx} = i \cdot \sigma_z = 1{,}2 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea verticală pe susținere se datorește în parte tensiunii radiale necesare pentru oprirea expansiunii zonei clastice, precum și greutății rocii din zona clastică. Astfel se va determina :

$$P_{iAv} = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^3;$$

$$\sigma_{rb} = \sigma_{tx}\frac{1}{2}(1 - \sin\varphi) = 1{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}24 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAv} = 0{,}24 \cdot 0{,}25 = 0{,}03 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta este mărimea presiunii pe susținere, necesară pentru limitarea zonei clastice.

Presiunea verticală asupra susținerii, necesară pentru stabilizarea rocii în zona sfărîmată, datorită greutății acesteia va fi :

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1 - \left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0{,}0016 \cdot 150}{2}\left[1 - \left(\frac{150}{300}\right)^2\right] =$$

$$= 0{,}18 \cdot 0{,}75 = 0{,}135 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea totală asupra susținerii la cheia bolții va fi :

$$P_{iv} = P_{iAv} + P_{iBv} = 0{,}03 + 0{,}135 = 0{,}165 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea orizontală la extremitățile diametrului orizontal va fi :

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1};$$

$$\sigma_{rBh} = \sigma_{tz} \cdot \frac{1}{2}(1 - \sin\varphi) = 13{,}2\frac{1}{5} = 2{,}65 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAh} = 2{,}65 \cdot 0{,}125 = 0{,}33 \text{ daN/cm}^2.$$

Modul de acționare a tensiunilor și presiunilor pentru exemplul studit este redat în fig. XVI.78.

În cazul studiat anterior, s-a presupus că zona clastică se extinde numai pînă la o distanță oarecare b de la centrul lucrării. Cînd adîncimea la care se sapă lucrarea minieră este foarte mică, este posibil ca zona clastică să se extindă pînă la suprafață. În acest caz, folosind datele anterioare, se va determina pentru $b = 3000$ cm :

$$\frac{a}{b} = \frac{150}{3000} = \frac{1}{20}$$

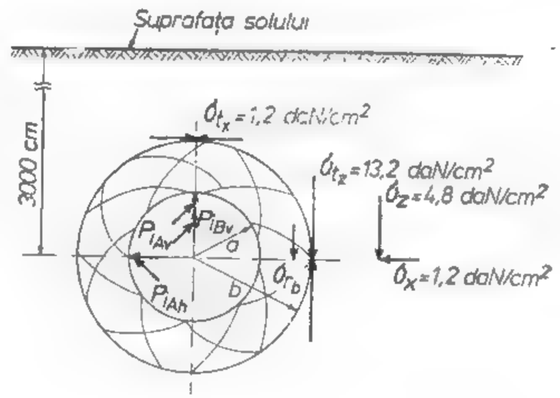


Fig. XVI.78. Mărimea tensiunilor și a presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare.

și deci :

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-} = 2{,}65\left(\frac{1}{20}\right)^3 = 0{,}000332 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în acest caz, presiunea orizontală asupra susținerii este neglijabilă.

Şi în acest caz, presiunea verticală asupra susţinerii se compune din $P_{tAv} + P_{tBv}$ Cînd zona clastică se extinde pînă la suprafaţă şi lateral, pe o distanţă considerabilă, presiunea verticală P_{tAv} devine atît de mică încît ea poate fi neglijabilă. În consecinţă, presiunea verticală care va acţiona asupra susţinerii va fi dată numai de parte a doua a ecuaţiei şi anume:

$$P_{tBv} = \frac{3}{2}\,\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right] = \frac{3}{2}\cdot\frac{0{,}0016\cdot 150}{2}\left[1-\left(\frac{1}{20}\right)^{2}\right] =$$

$$= 0{,}1795 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunînd, deci, că zona clastică se va extinde pînă la suprafaţă, presiunea verticală asupra susţinerii se va apropia de valoarea limită minimă de 0,18 daN/cm², indiferent de adîncimea lucrării faţă de suprafaţă. Pentru cazul cînd $\frac{b}{a} > 3$, termenul $\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right]$ poate fi neglijat şi atunci ecuaţia devine:

$$P_v = \frac{3}{2}\cdot\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}$$

Această mărime reprezintă presiunea la cheia bolţii, presiune care descreşte pe măsura apropierii de capetele diametrului orizontal.

Pînă în prezent problema a fost studiată pentru cazul cînd roca nu posedă nici un fel de coeziune. În cazul în care roca mai posedă o oarecare coeziune—caz care se întîlneşte mai frecvent—atunci tensiunea tangenţială se reduce ca valoare, iar tensiunea radială necesară pentru echilibru se va reduce şi ca în mod proporţional.

Dacă se presupune că roca mai posedă o coeziune de 0,244 daN/cm², ceea ce corespunde (pentru $\varphi = 37°$) unei rezistenţe de rupere la compresiune de:

$$Q = 2c\,\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi} = 2\cdot 0{,}244\,\frac{0{,}8}{1-0{,}6} = 0{,}88 \text{ daN/cm}^2.$$

considerînd condiţii similare ca şi în cazul anterior unde $\sigma_{tz} = 13{,}22$ daN/cm², rezultă:

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q)\,\frac{1}{2}\,(1-\sin\varphi) = (13{,}2 - 0{,}88)\cdot 0{,}2 = 2{,}46 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că tensiunea radială se reduce de la 2,65 daN/cm² la 2,46 daN/cm², ceea ce reduce mărimea presiunii cu circa 7%, reducere care este foarte mică.

Din datele problemei anterioare rezultă că lucrarea minieră este stabilă fără a necesita nici un fel de susţinere, dacă roca are o rezistenţă de minimum 13,2 daN/cm². Această condiţie este îndeplinită de argilele dure, şisturi etc.

Lucrare minieră săpată la adîncime mare, în roci rezistente cu coeziune mare. Pînă în prezent a fost studiată şi determinată mărimea presiunii asupra susţinerii în cazul unor lucrări miniere situate la adîncime mică, în roci sedimentare lipsite total de coeziune sau cu coeziune mică. Concluzia la care s-a ajuns a fost că, pentru adîncimi mici, dacă roca îndeplineşte anumite condiţii de rezistenţă, lucrarea minieră nu trebuie să fie prevăzută

cu o susţinere de rezistenţă. La adîncimi mari faţă de suprafaţă apar roci a căror rezistenţă la compresiune depăşeşte valoarea de 1000—1500 daN/cm², caz în care se poate considera că aceste roci au o comportare elastică. În acest caz tensiunile tangenţiale de compresiune la marginile orificiului circular ating valori de $(2-3)\sigma_z$. Este evident că forfecarea rocii va avea loc pentru cazul în care tensiunile tangenţiale depăşesc rezistenţa de rupere la compresiune a rocii, adică:

$$3\sigma_z > Q.$$

Pentru o rocă care are o rezistenţă de rupere la compresiune de 900 daN/cm², rezistenţa rocii va fi depăşită cînd $\sigma_z > 300$ daN/cm².

Considerînd o greutate specifică aparentă de 0,0017 daN/cm³, tensiunea tangenţială creată la marginea lucrării circulare va întrece rezistenţa rocii cînd lucrarea minieră se va afla la o adîncime egală sau mai mare de: $H \geqslant \frac{\sigma_z}{\gamma_a} = \frac{300}{0{,}0017} = 1764$ m.

Pentru a putea determina mărimea presiunii, se consideră o lucrare miieră circulară amplasată la o adîncime de 1800 m în rocă masivă, cu următoarele caracteristici:

— rezistenţa de rupere la compresiune $Q = 700$ daN/cm²;

— unghiul de frecare interioară $\varphi = 55°$; şi $\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = j = 10$;

— celelalte date sînt identice cu cele din exemplul precedent.

În momentul ruperii, pentru cazul cînd roca este supusă la compresiune triaxială, se foloseşte relaţia:

$$\sigma_1 = Q + j\sigma_3.$$

În acest caz:

$$\sigma_z = 1800\cdot 1{,}7 = 306 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_t = 3\sigma_z = 3\cdot 306 = 918 \text{ daN/cm}^2.$$

La limita zonei elasto-clastice se poate scrie relaţia de echilibru:

$$\sigma_{rb} = \frac{\sigma_{te}}{2}(1-\sin\varphi) = \frac{\sigma_{te}}{2}(1-0{,}82) = 0{,}09\cdot\sigma_{te}.$$

Dar σ_{te} reprezintă numai o parte a tensiunii tangenţiale, limită care întrece rezistenţa rocii:

$$\sigma_{te} = \sigma_t - Q = 918 - 700 = 218 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{rb} = 0{,}09\,\sigma_{te} = 0{,}09\cdot 218 = 19{,}62 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta arată că prin aplicarea pe conturul lucrării a unei reacţiuni de 19,62 daN/cm² poate fi prevenit fenomenul de forfecare a rocilor. Cu toate acestea nu se poate recurge la montarea unei susţineri care să reziste la 19,62 daN/cm², chiar dacă ea ar putea fi montată destul de repede pentru a preveni forfecarea. În consecinţă, dacă se va monta o susţinere capabilă să reziste la o tensiune de 0,5 daN/cm², forfecarea se va extinde repede pînă la distanţe;

$$P_{tAv} = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1}$$

sau :

$$P_{iAv} = 19{,}62\left(\frac{a}{b}\right)^9 = 0{,}5\text{daN/cm}^2;\ \text{de aici } b = 1{,}5\ a$$

Cu alte cuvinte, forfecarea se va extinde pînă la o distanță de 0,5 a de la margine, ceea ce echivalează cu circa 73 cm, distanță care este capabilă să reducă presiunea asupra susținerii la valori acceptabile. Această presiune, de 0,5 daN/cm², va fi exercitată în partea superioară a susținerii, datorită greutății rocilor din zona clastică.

Valoarea presiunii în vîrful bolții va fi :

$$P_{iBv} = \frac{3}{2}\cdot\frac{\gamma_a a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right] = \frac{3}{2}\cdot\frac{0{,}0016\cdot 150}{8}\left[1-\left(\frac{1}{1{,}5}\right)^8\right] \cong$$

$$\cong 0{,}046\ \text{daN/cm}^2$$

Presiunea verticală totală va fi :

$$P_b = 0{,}5 + 0{,}046 = 0{,}546\ \text{daN/cm}^2.$$

În acest caz, susținerea va avea rol de portanță, limitînd extinderea zonei de forfecare, fenomen ce poate fi ilustrat grafic (fig. XVI.79, a).

Presiunea asupra susținerii poate fi mult redusă, dacă se permite o relaxare mai accentuată a rocii, adică o extindere a zonei sfărîmate pe o distanță mai mare. Aceasta

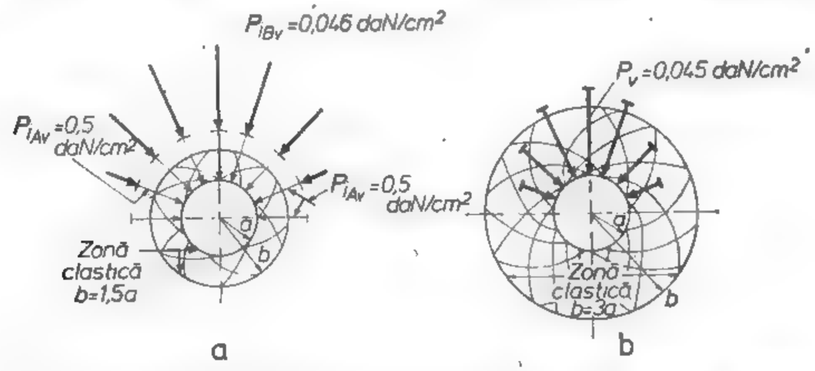


Fig. XVI.79. Mărimea presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare :

a—cînd $b=1{,}5a$; b—cînd $b=3a$.

presupune montarea unei susțineri care să lucreze la început elastic, iar după o perioadă de timp, rigid. Așa, de exemplu, pentru $b = 3a$ rezultă :

$$P_{iAv} = 19{,}62\left(\frac{150}{450}\right)^9 = 0{,}0011\ \text{daN/cm}^2;$$

$$P_{iBv} = \frac{3}{2}\cdot\frac{0{,}0016\cdot 150}{8}\cdot 1 = 0{,}044\ \text{daN/cm}^2.$$

În acest caz, presiunea totală va fi :

$$P_v = 0{,}0011 + 0{,}044 = 0{,}0451\ \text{daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd zona sfărîmată s-a extins de la $b = 1{,}5\ a$ la $b = 3a$ presiunea a scăzut de la 0,546 daN/cm² la 0,0451 daN/cm², fenomen ilustrat în fig. XVI.79, b.

În exemplul precedent a fost analizată posibilitatea extinderii zonei clastice, cu scopul de a reduce presiunea pe susținere.

Din același exemplu s-a constatat că formarea zonei sfărîmate nu poate fi total evitată. În concordanță cu același exemplu, s-ar părea că pentru obținerea unei presiuni minime asupra susținerii este necesar ca zona clastică să se extindă la maxim. Obținînd în acest caz o presiune minimă, se va putea monta o susținere cu o portanță scăzută și deci cu costuri reduse. Dar, în același timp, cantitatea de rocă excavată din lucrare — pentru a obține în final o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite — va crește foarte mult, datorită afînării rocilor din zona clastică, avînd drept consecință creșterea costului de săpare a lucrării.

În consecință, pentru a avea o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite, după ce rocile s-au stabilizat, excavarea inițială se va face la dimensiuni ceva mai mari decît dimensiunea finală. Corelația dintre costul de săpare și cel de susținere, în condițiile cele mai economice, poate fi determinată prin calcule.

Reducerea diametrului unei lucrări circulare în scopul micșorării presiunii pînă la valori admisibile se determină astfel (fig. XVI.80) :

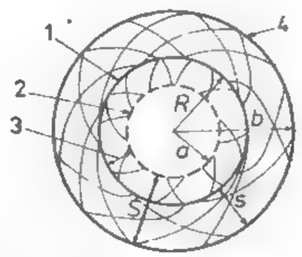


Fig. XVI.80. Micșorarea diametrului lucrării miniere circulare prin creșterea zonei sfărîmate :

1 — diametrul inițial al lucrării; 2 — diametrul final după stabilizare; 3 — reducerea secțiunii după stabilizare; 4 — zona elastică după stabilizare.

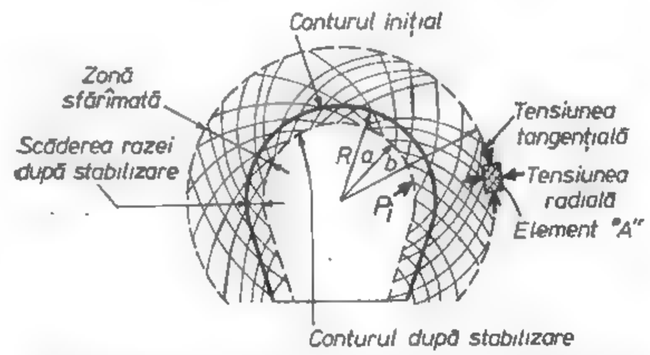


Fig. XVI.81. Formarea zonei de tensiuni reduse cînd lucrarea minieră este susținută cu o susținere elastică :

R — raza inițială; a — raza finală; b — raza zonei sfărîmate; p_i — secțiunea susținerii.

Pentru o lungime de 1 m pe direcție rezultă :

$$V_b = b^2;$$

$$V_s = (b^2 - R^2).$$

Prin sfărîmarea rocii din zona clastică (coroana circulară a), aceasta își va mări volumul :

$$V_s = (b^2 - R^2)\,K,$$

$$a^2 = V_a = V_b - V_s = b^2 - K(b^2 - R^2) = b^2 - K\,(b^2 - R^2)$$

$$a^2 = \frac{V_a}{\pi^2} = b^2 - K(b^2 - R^2)$$

Pentru un coeficient de afînare $K = 1,1$ și pentru datele problemei precedente, în care zona clastică a fost lăsată să se extindă pînă la distanța de 1,5 a de la centru, expansiune care a permis reducerea presiunii pînă la 0,5 daN/cm², raza inițială fiind de 150 cm, se pune problema determinării razei (a) după stabilizare, cît și a volumului de rocă care trebuie excavat în plus. În acest caz :

$$a^2 = b^2 - K(b^2 - R^2) = 2,25^2 - 1,1(2,25^2 - 1,50^2) = 2\,;$$

$$a = \sqrt{2} \cong 1,42\,;$$

$$R - a = 1,50 - 1,42 = 0,08 \text{ m} = 8 \text{ cm}.$$

Deci, după stabilizarea rocilor, diametrul a scăzut de la 3 m la 2,84 m, ceea ce nu va incomoda nici transportul de personal și nici pe cel de material prin lucrarea minieră. În acest caz, volumul de rocă ce va fi excavat în plus va fi de :

$$V' = V'_s - V_s = \pi(b^2 - R^2)((K - 1) = 3,14(2,25^2 - 1,5^2)(1,1 - 1) = 0,92 \text{ m}^3.$$

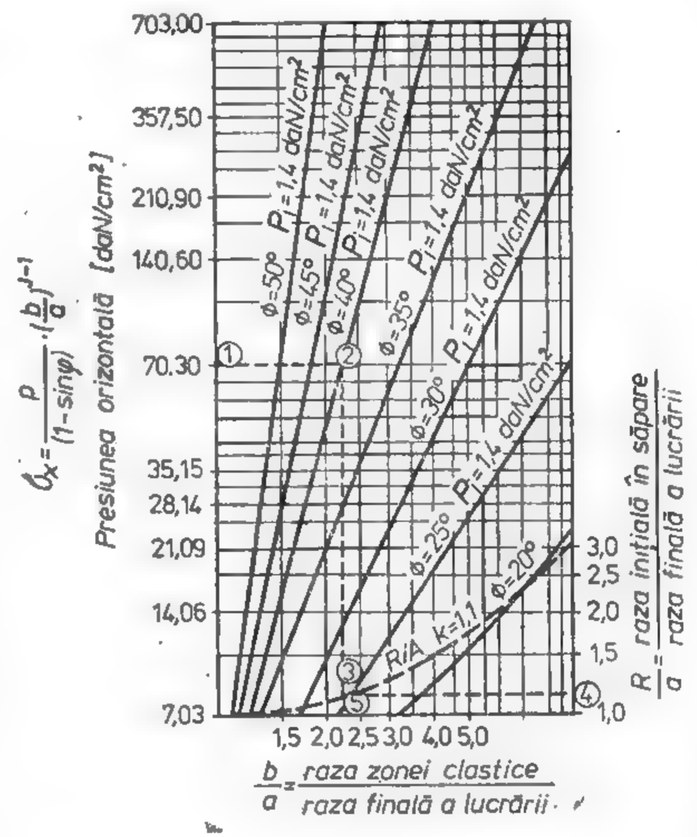
Dacă zona clastică ar fi lăsată să se extindă pînă la $b = 3\,a$, pentru a reduce și mai mult presiunea pe susținere — presiunea calculată în exemplul precedent — s-ar produce o reducere a diametrului de la 3 m la 1,62 m, cu un volum de rocă excavată în plus de 5,8 m³, reprezentînd circa 80% față de volumul inițial, caz în care lucrarea minieră nu ar mai corespunde cerințelor impuse de faza inițială. În conecință, soluția practică ar consta în montarea unei susțineri cu o portanță suficient de mare care să producă o stabilizare a rocilor, după ce zona clastică s-a extins pe o distanță pînă la 1,5 a de centrul orificiului.

Pentru a putea generaliza problema pusă în discuție, respectiv pentru a putea determina cu rapiditate dimensiunile de săpare ale unei lucrări miniere cînd aceasta este susținută cu o susținere elastică, astfel încît după stabilizare să se obțină dimensiunile dinainte stabilite, se consideră o lucrare minieră susținută cu o susținere elastică (fig XVI. 81).

Dacă se consideră un element A, care se găsește în afara zonei sfărîmate, se poate scrie condiția de echilibru a acestui element, condiție care exprimă relația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară a rocilor în care se sapă lucrarea și raza zonei sfărîmate. Pentru ușurință, această corelație este redată sub forma unei diagrame (fig. XVI.82).

Pentru exemplificare, se presupune că lucrarea minieră este săpată la o adîncime de 440 m, într-o rocă care are unghiul de frecare interioară de 40°. La această adîncime se creează o presiune orizontală de 70,3 daN/cm², punctul *1*. De la acest punct se duce o orizontală pînă se întîlnește dreapta care reprezintă unghiul de frecare interioară de 40° — punctul *2*. De aici se duce o verticală pînă la intersecția acesteia cu curba R/A, obținîndu-se punctul *3*. Din acest punct, pe orizontală se obține punctul *4*, pentru care raportul $R/a = 1,15$. Deci raza lucrării miniere în săpare trebuie să fie de 1,15 ori mai mare decît raza proiectată a lucrării, pentru a permite o corectă interacțiune între rocă și susținerea

Fig. XVI.82. Corelația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară și raza zonei sfărîmate. →



elastică. Astfel, dacă raza finală a lucrării trebuie să fie de 150 cm, adică să aibă un diametru de 300 cm, diametrul inițial în săpare trebuie să fie de 300 · 1,15 = = 345 cm, caz în care se va realiza un echilibru perfect între rocă și susținerea elastică. Graficul din fig. XVI.82 a fost întocmit în ipoteza că susținerea elastică va opune o reacțiune de 1,4 daN/cm². Dacă din punctul 3 se continuă verticala în jos, se va obține raportul dintre raza zonei clastice și raza lucrării miniere.

Lucrare minieră săpată la adîncime mică, în argile. Se consideră că o lucrare minieră circulară — tunel — a fost săpată într-un șist argilos cu $\sigma_a = 0,00176$ daN/cm³ ; $c = 0,68$ daN/cm² și $\varphi = 20°$. Adîncimea față de suprafață a fost de $H = 36,6$ m, iar raza lucrării $a = 5,5$ m.

Pentru $\varphi = 20°$; $j = 2$; $j - 2 = 0$ se obține :

$$P_i = a \cdot \gamma \cdot a\, 2,3 \log \frac{H}{a} - T\left[1 - \left(\frac{a}{H}\right)^{j-1}\right] \cong = 0,23 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru cazul cînd lucrarea minieră este săpată în argile saturate, caz pentru care $\varphi = 0$, și considerînd celelalte date avînd valorile :

$$\gamma_a = 0,0019 \text{ daN/cm}^3\,;\ c = 0,1 \text{ daN/cm}^2\,;\ H = 2000 \text{ cm}\,;\ a = 200 \text{ cm}\,;$$

se obține : $p_i = a \cdot \gamma_a \left[\frac{H}{a} - 1\right] - 4,6\, c \lg \frac{H}{a} \cong 3$ daN/cm².

Exactitatea rezultatelor obținute depinde de exactitatea determinării parametrilor de stare fizică și mecanică.

Din rezultatele obținute se constată că presiunea asupra susținerii — la tavan — reprezintă circa 80% din valoarea presiunii maxime, presiune care în timp poate atinge chiar valoarea maximă ($\gamma_a \cdot H$).

3.3.1.2. Presiunea laterală

P. M. Ţimbarevici presupune că presiunea laterală asupra pereţilor unei lucrări miniere este suma presiunii active asupra pereţilor, a prismelor m şi a încărcăturii de deasupra acestor prisme. Astfel, dacă se ia o lucrare minieră de formă dreptunghiulară cu lăţimea de $2a$ şi înălţimea h (fig. XVI. 83), presiunea laterală este dată de presiunea activă a prismelor m care sînt încărcate cu greutatea elementelor parabolice n, rezultînd:

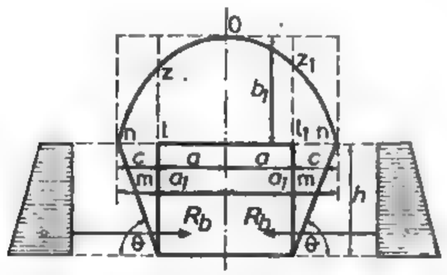


Fig. XVI.83. Schema de calcul a presiunii laterale (după P. M. Ţimbarevici

Înălţimea de încărcare a prismelor laterale h_0:

$$h_0 = \frac{\gamma_{a1}}{\gamma_a} \cdot \frac{a + h\,\mathrm{ctg}\,\frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\mathrm{tg}\,\varphi_1} \qquad (3.58)$$

Mărimea presiunii laterale:

$$R_b = \frac{\gamma_a \cdot h}{2} \cdot \frac{2\gamma_{a1}}{\gamma_a} \cdot \frac{a + h\,\mathrm{ctg}\,\frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\mathrm{tg}\,\varphi_1} + h\,\mathrm{tg}^2\,\frac{90 - \varphi}{2} \qquad (3.59)$$

În practică, presiunile laterale asupra pereţilor lucrărilor subterane se iau în consideraţie pentru rocile la care $f = \mathrm{tg}\,\varphi \leqslant 2$.

La o rezistenţă mai mare a rocilor, presiunile laterale care iau naştere în jurul lucrărilor miniere sînt neglijabile.

Astfel, pentru o lucrare minieră care are lăţimea $2a = 4{,}5$ m, şi înălţimea $h = 3$ m, avînd în tavan roci cu $\gamma_{a1} = 2500$ daN/cm³ şi $\varphi_1 = 72^\circ$ şi în pereţi roci cu $\gamma_a = 2300$ daN cm³ şi $\varphi = 64^\circ$, presiunea laterală va fi:

$$h_0 = \frac{2{,}5}{2{,}3} \cdot \frac{2{,}25 + 3{,}0\,\mathrm{ctg}\,\frac{90^\circ + 64^\circ}{2}}{\mathrm{tg}\,72^\circ} \approx 1{,}4 \text{ m};$$

$$R_b = \frac{2300 \cdot 3{,}0}{2}\,(2 \cdot 1{,}4 + 3{,}0)\,\mathrm{tg}^2\,\frac{90^\circ - 64^\circ}{2} \approx 1050 \text{ daN/m} = 350 \text{ daN/m}^2$$

3.3.1.3. Presiunea din vatră

P. M. Ţimbarevici, acceptînd o schemă de manifestare a presiunii ca în fig. XVI. 84, stabileşte:

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mişcare a rocilor:

$$x_0 = \frac{H_1\,\mathrm{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\mathrm{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) - \mathrm{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \qquad (3.60)$$

— diferenţa dintre presiunea activă şi pasivă:

$$D_0 = R_0 - Q_0 = \frac{1}{2}\gamma_a\left[(x_0^2 + 2x_0H_1)\,\mathrm{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - x_0^2\,\mathrm{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)\right.$$

Valoarea presiunii din vatră (N) este dată de relaţia:

$$N = D\,\mathrm{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right).$$

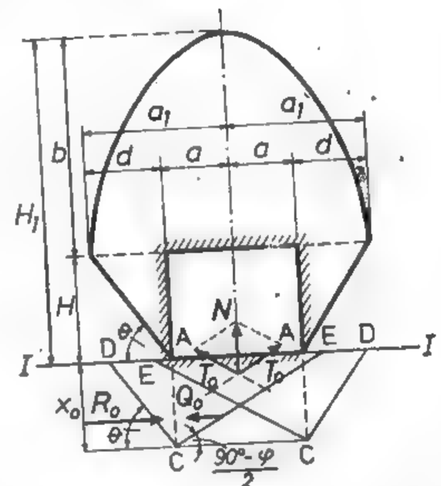


Fig. XVI.84. Schema de calcul a presiunii din vatră la o lucrare minieră cu profil dreptunghiular fără susţinere (după P. M. Ţimbarevici).

Astfel, pentru o lucrare cu înălţimea $H = 2{,}5$ m şi cu lăţimea $2a = 3{,}5$m, săpată într-o argilă umedă cu $\varphi = 25^\circ$ şi $\gamma_a = 2000$ daN/m³, se poate determina:

— înălţimea bolţii parabolice:

$$b = \frac{1{,}75 + 2{,}50\,\mathrm{ctg}\,\frac{90^\circ + 25^\circ}{2}}{\mathrm{tg}\,25^\circ} \approx 7{,}2 \text{ m};$$

$$H_1 = H + b = 2{,}5 + 7{,}2 = 9{,}7 \text{ m}$$

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mişcare a rocilor este:

$$x_0 = \frac{9{,}7\,\mathrm{tg}^4\,\frac{90^\circ - 25^\circ}{2}}{1 - \mathrm{tg}^4\,\frac{90^\circ - 25^\circ}{2}} \approx 1{,}9 \text{ m}$$

$$D_0 = \frac{1}{2} \cdot 2(1{,}9^2 + 2 \cdot 1{,}9 \cdot 9{,}7)\,\mathrm{tg}^2\,\frac{90^\circ - 25^\circ}{2} - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1{,}9^2 \cdot \mathrm{tg}^2\,\frac{90^\circ + 25^\circ}{2} = 7700 \text{ daN/m}.$$

Presiunea din vatra va fi:

$$N = 7700 \text{ tg}^2 \frac{(90° - 28°)}{2} = 1400 \text{ daN/m}^2.$$

Fenomenul presiunilor din vatră se manifestă în special la rocile argiloase cu proprietăți de umflare.

3.3.2. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE VERTICALE

Problema determinării presiunii asupra susținerii puțurilor verticale este una dintre cele mai dificile probleme din domeniul minier și care nu a găsit încă o soluționare complet mulțumitoare din punct de vedere teoretic.

Pe parcursul dezvoltării științei miniere, au fost create o serie de ipoteze referitoare la presiunea asupra susținerii puțurilor, ipoteze care pot fi împărțite arbitrar în două grupe distincte:

— interpretarea presiunii rocilor și a naturii ei cu ajutorul unor scheme simplificate (ipoteze aproximative);

— studiul mecanismului interacțiunii dintre rocă și susținere, cunoașterea tensiunilor în rocă și susținere și analiza mișcării rocilor din jurul puțului.

Prima grupă este caracterizată prin aceea că ea consideră presiunea rocilor ca o sarcină statică, de o anumită valoare, pentru preluarea căreia trebuie ales un anumit tip de susținere.

F r i t z M o h r înglobează toate ipotezele referitoare la această etapă sub denumirea generală de *ipoteza forțelor*, din cadrul căreia cele mai adecvate pentru lucrările miniere verticale sînt ipotezele care admit lipsa presiunilor în cazul rocilor rezistente, dintre care:

— ipoteza restabilirii tensiunii naturale a masivului de roci;

— ipoteza bolții.

A doua grupă este caracterizată prin *ipoteza deformațiilor*, potrivit căreia presiunea asupra susținerii se dezvoltă și se restabilește în urma unei interacțiuni complexe, care are loc între susținere și rocă. Susținerea în acest sistem ocupă o poziție de echilibrare cu masivul de roci și influențează asupra manifestării presiunilor.

3.3.2.1. Ipoteza forțelor

Ipoteza restabilirii stării de tensiune în jurul puțului. Potrivit acestei grupe de ipoteze, presiunea asupra susținerii puțului corespunde tensiunilor împingerii laterale a masivului de rocă și se exprimă cu relația:

$$P = \lambda \cdot \gamma_a \cdot H$$

în care

$$\lambda = \text{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \tag{3.61}$$

Particularitatea acestei ipoteze o constituie recunoașterea dependenței liniare a presiunii rocilor în funcție de adîncime. Întrucît mărimea coeficientului de împingere late-

în masivul de roci nu se cunoaște, sînt emise diferite păreri. În mod corespunzător sînt emise o serie de considerente și asupra valorii presiunii rocilor asupra susținerii puțului.

Astfel, pornind de la teoria lui *Kulon*, P r o t o d i a k o n o v consideră că în jurul puțului se formează prisme care se deplasează pe plane de alunecare spre susținerea puțului și care dezvoltă o presiune dată de relația:

$$P = \gamma_a \cdot H \cdot \text{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right). \tag{3.62}$$

Dacă puțul străbate strate cu grosimi diferite: $h_1, h_2 \ldots h_n$, avînd coeficienți de tărie diferiți: $f_1, f_2, \ldots f_n$, valoarea medie a coeficientului de tărie se va calcula cu relația

$$f_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i f_i}{H} = \text{arc tg} \cdot f_{med}. \tag{3.63}$$

Dacă se consideră un puț vertical cu adîncimea de 150 m, săpat într-o formațiune de roci omogene cu $f = \text{tg}\ \varphi = 4$ și $\gamma_a = 3000$ daN/m³, presiunea pe unitatea de suprafață a peretelui puțului este:

$$P = \gamma \cdot H \text{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) =$$

$$= 2000 \cdot 150 \cdot 0{,}123^2 = 4500 \text{ daN/m}^2.$$

P. M. Ț i m b a r e v i c i admite posibilitatea unei analogii directe dintre tensiunile existente în roci și presiunea manifestată asupra susținerii, considerînd că *susținerea rigidă restabilește starea inițială de tensiune a rocilor*. Conform acestei ipoteze se consideră că în fiecare strat se formează prisme de alunecare (fig. XVI.85), care suportă la rîndul lor greutatea coloanei de roci acoperitoare. Formula generală de calcul propusă de *Țimbarevici* este:

$$P = \sum_{i=1}^{n} \gamma_{ai} \cdot h_i \text{tg}^2 \left(45° - \frac{\beta}{2}\right). \tag{3.64}$$

$$i = 1,\ 2,\ 4 \ldots,\ n.$$

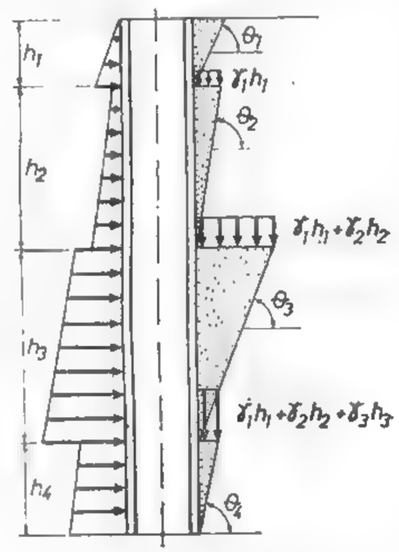


Fig. XVI.85. Schema de calcul a presiunii asupra unei lucrări miniere verticale (după P. M. Țimbarevici).

în care β reprezintă unghiul de rezistență interioară a rocilor.

Deoarece, în general, rocile în care se sapă puțul au proprietăți fizice și mecanice diferite, autorul recomandă pentru calculul presiunii pe unitatea de suprafață a peretelui relația:

$$P = \gamma_{an} \left[\frac{\gamma_{a1}}{\gamma_{an}} h_1 + \frac{\gamma_{a2}}{\gamma_{an}} h_2 + \ldots \frac{\gamma_{an+1}}{\gamma_{an}} h_{n-1} + h_n\right] \text{tg}^2 \left(45° - \frac{\beta}{2}\right) \tag{3.65}$$

Pentru ușurarea calculelor referitoare la mărimea presiunii, în tabelul XVI. 28 se dau valorile coeficientului împingerii laterale.

Tabelul XVI.28

Valorile coeficientului împingerii laterale $tg^2(45° - \varphi/2)$ în funcție de unghiul de frecare interioară.

Natura rocilor	Caracteristicile rocilor			Coeficientul împingerii laterale $tg^2(45° - \varphi/2)$	
	Rezistența la compresiune [daN/cm²] σ_c	Volumul porilor [%]	Unghiul de frecare interioară, $\varphi°$	Valori limită	Media
Roci acvifere	—	—	0—18°	1,0—0,64	0,76
Roci mobile	—	—	18—26°,34′	0,64—0,5	0,53
Roci f. moi	—	—	26°34′—50°	0,6—0,29	0,39
Roci moi	20—100	40—10	—	0,297—0,031	0,164
Roci de tărie medie	100—400	10—3	—	0,031—0,008	0,017
Roci tari	400—1600	3—0,5	—	0,008—0,002	0,004
Roci foarte tari	1600—2000	0,5—0	—	0,002—0,0007	0,0012

Dacă se consideră că un puț vertical traversează un pachet de strate care de sus în jos au următoarele caracteristici:

— stratul I $h_1 = 20$ m... $\gamma_{a1} = 2000$ daN/m³

— stratul II $h_2 = 10$ m... $\gamma_{a2} = 1600$ daN m³

— stratul III $h_3 = 10$ m... $\gamma_{a3} = 2000$ daN/m³

— stratul IV $h_4 = 160$ m... $\gamma_{a4} = 2400$ daN/m³,

presiunea pe diferitele tronsoane este:

stratul IV, partea de jos:

$$p_4' = 2,4\left(160 + \frac{2,0}{2,4}\cdot 10 + \frac{1,6}{2,4}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,4}\cdot 20\right)\cdot 0,017 = 7,800 \text{ daN/m}^2.$$

partea de sus:

$$p_4'' = 2,4\left(\frac{2,0}{2,4}\cdot 10 + \frac{1,6}{2,4}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,4}\cdot 20\right) 0,017 = 1,290 \text{ daN/m}^2$$

stratul III, partea de jos:

$$p_3' = 2,0\left(10 + \frac{1,6}{2,0}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,0}\cdot 20\right) 0,387 = 29,400 \text{ daN/m}^2$$

partea de sus:

$$p_3'' = 2,0\left(\frac{1,6}{2,0}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,0}\cdot 20\right) 0,387 = 21,670 \text{ daN/m}^2$$

stratul II, partea de jos:

$$p_2' = 1,6\left(10 + \frac{2,0}{1,6}\cdot 20\right) 0,757 = 42,000 \text{ daN/m}^2;$$

partea de sus:

$$p_2'' = 1,6\,\frac{2,0}{1.6}\cdot 20\cdot 0,757 = 30,000 \text{ daN/m}^2;$$

stratul I, partea de jos:

$$p'_1 = 2,0\cdot 20\cdot 0,387 = 15,480 \text{ daN/m}^2.$$

Conform acestor rezultate, poate fi construită epura presiunilor, de unde se observă că stratul II, deși se află mai aproape de suprafață, dezvoltă o presiune cu mult mai mare asupra susținerii decît stratul IV, care se găsește la adîncime mai mare.

K. V. Pavlov a propus o formulă de calcul bazată pe unele experiențe, care au arătat că valoarea presiunii litostatice asupra puțurilor variază în funcție de diametrul acestuia, direct proporțional cu expresia $\frac{\sqrt[3]{D+1}}{2}$. Presiunea asupra pereților puțului după acest autor este dată de relația:

$$P = \gamma_{az}(h_z + h_0)^3\cdot\frac{\sqrt[3]{D+1}}{2}\,tg^2\left(45° - \frac{\varphi°}{2}\right), \qquad (3.66)$$

în care: D reprezintă diametrul puțului sau latura cea mai mare a acestuia. Astfel, pentru un puț cu adîncimea de 200 m și diametrul de 6 m, săpat într-o rocă omogenă cu $\varphi = 68°40'$ și $\gamma_a = 2750$ daN/m³, presiunea va fi:

$$P = \frac{1}{2}\cdot 2,75\cdot 200\sqrt[3]{6+1}\cdot tg^2\cdot 10°40' = 18\,380 \text{ daN/m}^2.$$

3.3.2.2. Ipoteza deformațiilor

Înainte de tratarea anumitor procedee de calcul care aparțin acestei grupe, este necesar să se arate care este mecanismul interacțiunii dintre rocă și susținere, avînd în vedere că acest grup de ipoteze iau în considerare reacțiunea susținerii.

Mecanismul interacțiunii susținerii cu masivul de roci se poate prezenta grafic cu ajutorul diagramei din fig. XVI. 86, unde curba *1* caracterizează presiunea radicală la suprafața lucrării, în funcție de valoarea deplasării rocilor (U_a). Curba *1* se întretaie cu axa p în punctul de ordonată $\lambda_a \gamma_a h$, care corespunde tensiunilor în masivul monolit de roci.

După realizarea excavației, pînă la montarea susținerii, conturul puțului suferă o oarecare deplasare radială U_0, după care are loc montarea susținerii cu caracteristica *2*. Mărimea deplasărilor U_s caracterizează comportarea simultană a susținerii și a masivului, atunci cînd susținerea se opune acțiunii presiunii rocilor. Punctul *A* corespunde stării echilibrului static și a presiunii stabilizate. Susținerea cu caracteristica *3* va suporta o presiune mai redusă, ceea ce denotă că presiunea depinde în măsură hotărîtoare de rigiditatea susținerii.

Astfel, elementele deplasării sînt legate între ele prin relația:

$$U_t = U_0 + U_s, \tag{3.67}$$

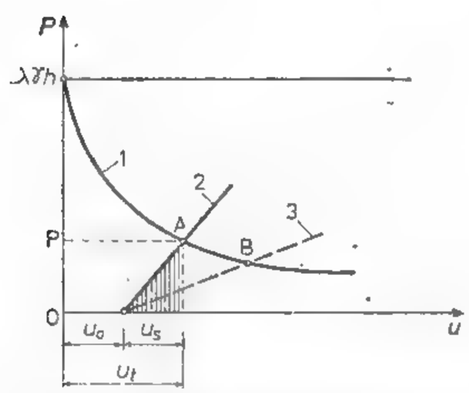


Fig. XVI.86. Mecanismul interacțiunii dintre rocă și susținere.

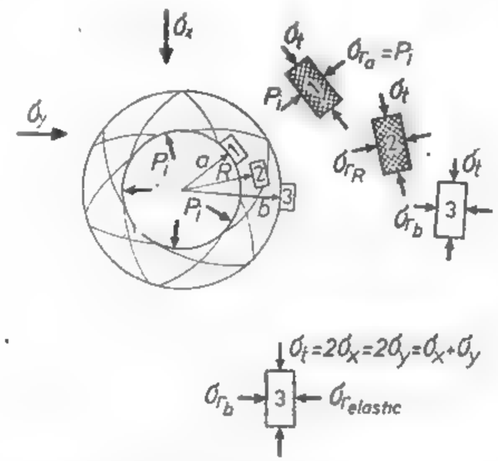


Fig. XVI.87. Starea de echilibru a unei particule din jurul unei lucrări miniere verticale în ipoteza lui Labasse.

Plecînd de la aceste considerente, F e n n e r analizează echilibrul unui element care se află în interiorul zonei de tensiuni reduse și pe conturul exterior al acesteia (fig. XVI. 87.)

Punînd condiția $\sigma_1 = Q + j\sigma_3$, stabilește relația presiunii sub forma:

$$p_i = \sigma_x(1 - \sin\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} \tag{3.68}$$

Analizînd raționamentul prezentat de *Fenner*, L a b a s s e a dat o interpretare deosebită valorii presiunii. Autorul a remarcat că presiunea asupra susținerii are valoarea cea mai mare la începutul formării zonei de fisurare sau curgere, cînd ($b=a$), adică:

$$P_{max} = \sigma_x(1 - \sin\varphi), \tag{3.69}$$

După *Labasse*, puțul este înconjurat de trei zone:

— zona de tensiuni reduse;

— zona tensiunilor mărite, care rdelimitează zona de curgere sau sfărîmare;

— zona elastică, în care tensiunile, pe măsura îndepărtării de pe conturul puțului, se apropie de tensiunile din masiv.

Labasse a dezvoltat ipoteza sfărîmării, rezolvînd distribuirea tensiunilor din jurul puțului pentru condițiile cînd roca din zona sfărîmată mai dispune și de o oarecare coeziune, stabilind relația:

$$p = (\sigma_x + c\,\mathrm{ctg}\varphi)(1 - \sin\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{i=1} - c\,\mathrm{ctg}\varphi \tag{3.70}$$

K. V. R u p e n e i t a întocmit un studiu analog problemei interacțiunii rocilor cu susținerea puțului cu ajutorul funcțiilor tensiunilor

Acesta dezvoltă ipoteza sfărîmării, determinînd deplasarea rocilor de pe conturul puțului, în funcție de raza zonei deformațiilor neelastice care se găsesc în condiția deplasărilor continue, la limita dintre domeniul deformațiilor neelastice și elastice, ajungînd la expresia:

$$p = (1 - \sin\varphi)(q + c\,\mathrm{ctg}\varphi)^{\frac{1}{1-\sin\varphi}}\left(\frac{a\sin\varphi}{U_a \cdot 2G}\right)^{\frac{\sin\varphi}{1-\sin\varphi}} - c\,\mathrm{ctg}\,\varphi \tag{3.71}$$

Această expresie este analogă cu formula lui *Labasse*, cu deosebirea că presiunea este dată în funcție de deplasarea pereților (U_a) și nu în funcție de raza zonei de sfărîmare.

Pentru exemplificare, se eprezintă în continuare cîteva cazuri mai deosebite care pot fi rezolvate după ipoteza lui *Fenner-Labasse*.

Puț vertical săpat la adîncime mică în roci elastice. Dacă se consideră că un puț vertical circular cu raza de $a = 150$ cm este săpat pînă la adîncimea $H = 3000$ cm, în roci lipsite de coeziune, cu $\gamma_a = 0{,}0016$ daN/cm³ și $\varphi = 37°$, se poate determina:

$$j = 4;\ j - 1 = 3;\ i = \frac{1}{4};$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0{,}0016 \cdot 3000 = 4{,}8 \text{ daN/cm}^2.$$

Se presupune că starea de tensiune este uniform repartizată pe circumferința puțului și deci $\sigma_x = \sigma_y$:

$$\sigma_x = \sigma_y = i\sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4{,}8 = 1{,}2 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, tensiunea tangențială va fi:

$$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2 \cdot 1{,}2 = 2{,}4 \text{ daN/cm}^2.$$

Mărimea tensiunii radiale, conform ipotezei lui *Fenner-Labasse*, va fi:

$$\sigma_{rb} = \sigma_t \left(\frac{1}{2}\right)(1 - \sin\varphi) = 2{,}4 \cdot 0{,}2 = 0{,}48 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunînd că susținerea cedează suficient pentru a permite zonei sfărîmate să se extindă pînă la distanța $b = 1{,}5\ a$ de la centrul puțului, presiunea va fi:

$$p_t = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} = 0{,}48\left(\frac{150}{225}\right)^3 = 0{,}48 \cdot 0{,}3 = 0{,}144 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă susținerea cedează mai mult, permițînd înaintarea zonei sfărîmate pînă la distanța $b = 2a$, presiunea va fi:

$$p_t = 0{,}48\left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0{,}06 \text{ daN/cm}^2.$$

Din calculele efectuate, se constată că presiunea asupra susținerii este cu atît mai mică cu cît raza zonei sfărîmate este mai mare, fapt ilustrat în fig. XVI. 88.

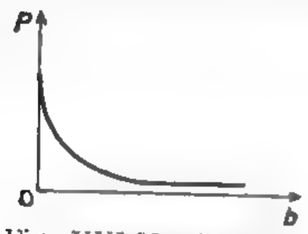


Fig. XVI.88. Variația presiunii în funcție de mărimea fazei sfărîmate.

În acest caz, susținerea trebuie să cedeze suficient pentru a permite formarea acestei zone. În condițiile din practică, creșterea razei zonei sfărîmate este însoțită de creșterea volumului de rocă care trebuie excavată în plus la săparea puțului. Deci, echilibrul între portanța susținerii și mișcarea rocilor înconjurătoare se stabilește, ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, prin calcule economice.

Puț vertical săpat în roșă coezivă, roca din zona sfărîmată fiind lipsită de coeziune. Dacă se presupune că puțul se sapă într-o rocă coezivă cu $c = 0{,}244$ daN/cm², coeziune pe care o poate avea o argilă nisipoasă — celelalte condiții rămînînd identice ca și pentru cazul precedent — datorită tensiunilor tangențiale care depășesc rezistența de rupere la compresiune a rocii, se produce forfecarea (sfărîmarea), care se extinde pe o distanță oarecare, pînă unde tensiunile radiale sînt suficient de mari pentru a opri procesul de forfecare. Datorită procesului de forfecare, se consideră că în interiorul zonei sfărîmate rocile sînt lipsite total de coeziune.

Rezistența inițială la compresiune a rocilor în care se sapă puțul se determină din relația:

$$Q = 2c\,\frac{\cos\varphi}{1 - \sin\varphi} = 2 \cdot 0{,}244 \cdot 2 = 0{,}976 \text{ daN/cm}^2.$$

Ca și în cazul precedent:
$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2{,}4$ daN/cm², tensiuni care întrec cu mult rezistența la compresiune a rocii.

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q)\frac{1}{2}(1 - \sin\varphi) = (2{,}4 - 0{,}976)\frac{1}{5} = 0{,}3 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă forfecarea înaintează progresiv pînă la $b = 1{,}5\ a$,

$$p_t = 0{,}3\left(\frac{1}{1{,}5}\right)^3 = 0{,}087 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru ca roca să se autosușină ($p_t = 0$) este necesar ca aceasta să posede o rezistență de rupere la compresiune de:

$$Q > \sigma_t = 2{,}4 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, roca ar trebui să posede o coeziune:

$$c = \frac{Q}{2} \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{2{,}4}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0{,}6 \text{ daN/cm}^2$$

Puț vertical săpat în roșă coezivă, roca din zona sfărîmată posedînd o oarecare coeziune. Dacă se presupune că puțul vertical este săpat într-o rocă coezivă, cum ar fi o argilă nisipoasă, iar în interiorul zonei de forfecare — datorită fragmentelor de argilă — roca sfărîmată mai posedă o coeziune de $c = 0{,}0488$ daN/cm², se va putea determina, plecînd de la ecuația lui Labasse:

$$p_t = (\sigma_{rb} + c\,\mathrm{crg}\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{i-1} - c\,\mathrm{ctg}\varphi \qquad (3.72)$$

$$T = c\,\mathrm{ctg}\varphi = \frac{c}{\mathrm{tg}\,\varphi} = \frac{0{,}0488}{0{,}75} = 0{,}065 \text{ daN/cm}^2.$$

înlocuind:

$$p_t = (0{,}3 + 0{,}065)\left(\frac{1}{1{,}5}\right)^3 - 0{,}065 = 0{,}0445 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd roca din zona sfărîmată mai posedă o oarecare coeziune, presiunea asupra susținerii este cu mult mai mică ($p_t = 0{,}0445$ daN/cm²) decît în cazul cînd roca din interiorul zonei sfărîmate nu mai posedă nici un fel de coeziune ($p_t = 0{,}087$ daN/cm²).

Pentru condițiile Văii Jiului, luînd în considerare patru categorii de roci caracteristice și pentru adîncimi pînă la 1000 m, presiunea, după mai mulți autori, are valorile din tabelul XVI.29.

3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale

Ipotezele tratate pînă în prezent au considerat presiunea ca fiind uniform distribuită în jurul lucrărilor miniere verticale.

Dacă se iau în considerare observațiile și măsurătorile practice realizate, atît în țara noastră cît și în străinătate, se ajunge la concluzia că, în majoritatea cazurilor, aceste

Tabelul XVI.2a

Valorile presiunilor pentru condițiile Văii Jiului

Autorul	Formula autorului	Adîncimea la care se calculează presiunea [m]	Argilă șistoasă	Argilă grezoasă	Marnă bituminoasă	Gresie dură
M. M. Protodiakonov	$P = \gamma H \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right)$	500	15,3	16,1	13	11,7
		700	21,4	23,6	18,2	16,4
		1 000	30,6	32,2	26	23,4
P. M. Ţimbarevici	$P = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i h_i \operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\beta}{2}\right)$	500	15,3	16,1	13	11,7
		700	21,4	22,6	18,2	16,4
		1 000	30,6	32,2	26	23,3
K. V. Pavlov	$P = \gamma n(h_n + h_0)\frac{\sqrt[3]{D + \ldots}}{2} \cdot A$	500	14,6	15,35	12,4	11,2
		700	20,4	21,6	17,4	15,7
		1 000	29,2	30,7	24,8	22,4
A. N. Dinik	$P = \frac{\mu}{1 - \mu}\gamma H$	500	49	35	31,8	24,7
		700	68,5	49	44,5	34,6
		1 000	78	70	63,6	49,4
Fenner-Labasse	$P = \frac{\mu}{1 - \mu}\gamma H(1 - \sin\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{2\sin\varphi}{1 - \sin\varphi}}$	500	11,3	8,4	6,36	4,45
		700	15,7	11,75	8,9	6,25
		1 000	22,6	17,2	12,72	8,9
Fr. Mohr	$P = \frac{0,1\gamma H}{2(K - 1)}[K + (K - 2)\cos 2\varphi]$	500	12,5	12,5	12,8	13
		700	18,2	18,2	18	18,2
		1 000	25	25	25,6	26

lucrări sînt supuse la presiuni neuniforme, neuniformitate caracterizată prin coeficientul de variație a presiunii determinat prin relația:

$$V = \frac{1}{P_m}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_m - P)^2}{n - 1}} \tag{3.73}$$

în care: p_m reprezintă presiunea medie:

p_i — valoarea presiunii într-un punct din secțiunea transversală a puțului;

n — numărul de puncte în care este măsurată mărimea presiunii.

Mărimea coeficientului de variație a presiunii depinde de o serie de factori, printre care: adîncimea, caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, felul și tehnologia de montare a susținerii, unghiul de înclinare a stratelor traversate etc.

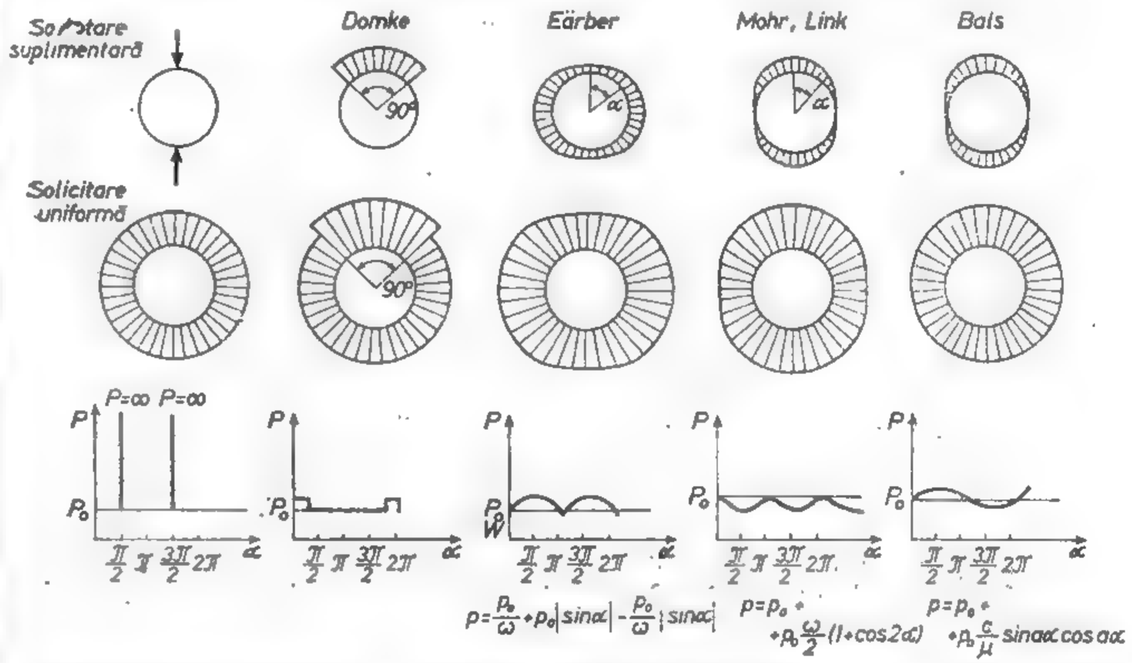


Fig. XVI.89. Distribuția neuniformă a presiunii în jurul lucrărilor miniere verticale.

După unii autori — *Ţimbarevici, Mohr, Faber* — mărimea acestui coeficient variază între 0,1—0,15. Pentru a se putea trece la calculul presiunii în condiții de solicitare neuniformă, unii autori au imaginat mai multe scheme posibile de distribuție neuniformă a presiunii, calculînd și valorile presiunii maxime (fig. XVI. 89).

În urma unor măsurători practice și a interpretării lor prin statistică matematică, s-a stabilit următoarea lege de variație a presiunii:

$$p_{min}^{max} = p_{med}(1 \pm 3V), \tag{3.74}$$

în care: p_{min}^{max} reprezintă presiunea maximă sau minimă:

V — coeficientul de variație a presiunii.

3.3.3. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA ABATAJELOR

Studiul manifestării presiunii în abataje permite interpretarea corectă a interacțiunii dintre rocă și susținere, elaborarea unor metode de calcul bine fundamentate din punct de vedere științific, îmbunătățirea construcției susținerilor, reducerea accidentelor de muncă etc. Acest studiu este foarte complicat din cauza numărului mare de parametri ce trebuie luați în considerare, printre care:

— geologici (proprietățile fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare și ale substanței minerale utile, forma, dimensiunile, succesiunea stratigrafică și prezentarea tectonică a rocilor, prezența unor suprafețe de minimă rezistență, precum și existența gazelor și apelor subterane);

— minieri (forma și dimensiunile frontului de abataj, procedeul de abataj folosit, sistemul de susținere a abatajului, metode de dirijare a presiunii rocilor).

Numărul ridicat de parametri care influențează modul de manifestare a presiunii, precum și cunoașterea insuficientă a acestora au condus la explicarea în mod diferit a presiunii și la formularea unui număr ridicat de ipoteze care pot fi grupate astfel:

1) ipoteza bolții de presiune;
2) ipoteza încovoierii stratelor din acoperiș;
3) alte ipoteze.

Ipoteza bolții de presiune. Conform acestei ipoteze datorită executării excavației și descoperirii acoperișului stratului, deasupra lucrării miniere executate în orice rocă, cu excepția nisipurilor acvifere, se formează o boltă de presiune care preia greutatea rocilor acoperitoare protejînd în acest fel susținerea din abataj — transmițînd-o în fața și în

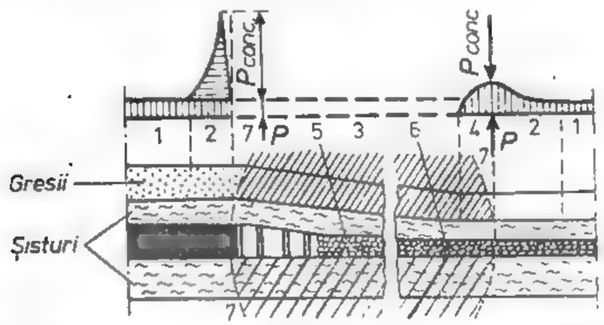


Fig. XVI.90. Schema formării bolții la un abataj:

1 — domeniul stării normale (inițiale) de tensiuni; *2* — domeniul concentrării tensiunilor (al presiunii de reazem); *3* — zonă eliberată de presiune (lipsită de tensiuni); *4* — zonă în care rambleul începe să preia o anumită presiune; *5* — rambleu netasat; *6* — rambleu în crus de tasare; *7* — limitele zonei tensiunilor reduse.

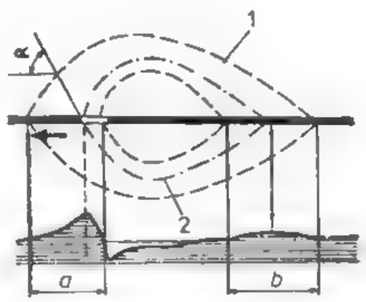


Fig. XVI.91. Formarea bolții de presiune secundară:

a — porțiune frontală a bolții; *b* — porțiune din spatele bolții; *1* — linie de reazem a bolții; *2* — boltă de presiune în culcușul stratului; α — unghi de surpare.

spatele frontului de abataj. Rocile din interiorul bolții vor fi frămîntate și eliberate de tensiuni. În consecință, presiunea maximă pe susținere va fi dată numai de greutatea rocilor din interiorul bolții de presiune sau a bolții de echilibru (fig. XVI. 90).

Pe măsura avansării frontului de lucru, bolta de presiune se amplifică treptat intervenind surparea ei periodică. Avansarea continuă a liniei de front determină formarea unei bolți, denumită *boltă de presiune secundară* (fig. XVI. 91), care se reazemă în spate pe rocile surpate sau pe rambleu. Avansarea continuă a frontului de lucru face ca punctul de reazem din fața bolții să fie mereu subminat și să se deplaseze înainte.

Astfel, deschiderea bolții se mărește din nou, intervenind surparea ei, care atrage după sine mutarea punctului de reazem din spate cît mai aproape de cel din față.

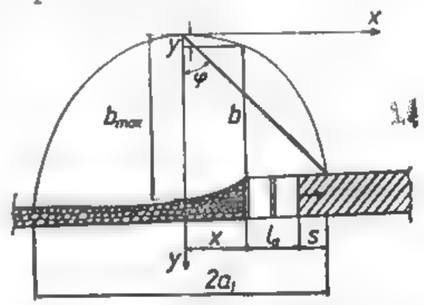


Fig. XVI. 92. Shema de calcul a presiunii pe susținere după ipoteza bolții.

După cum se observă, ipoteza bolții conține două idei fundamentale:

— zona concentrării tensiunilor în masiv are forma de boltă;

— rocile situate în zona concentrării tensiunilor pot să rămînă în echilibru, fără participarea rocilor din zona tensiunilor reduse.

Pentru calculul presiunii în punctul cel mai nefavorabil, adică pe ultimul rînd de stîlpi, se consideră bolta parabolică din fig. XI.92 de ecuația: $y = \frac{x^2}{a_1 f}$. Plecînd de la relația generală $P = \gamma_a \cdot H$ și considerînd că zăcămîntul are o înclinare α, relația generală a presiunii pe ultimul rînd de stîlpi va fi:

$$P_{max} = \gamma_a \cdot b \cdot \cos\alpha \text{ dar } b_{max} = \frac{a_1}{f}$$

iar:

$$b = b_{max} - y = \frac{a_1}{f} - \frac{x^2}{a_1 f} \text{ sau } b = \frac{a_1}{f}\left(1 - \frac{x^2}{a_1^2}\right)$$

în care: $x = a_1 - (l_a + S)$

După *Protodiakonov*, distanța sau zona de strivire (S) are valoarea: $S = 1{,}6\sqrt{\frac{H}{f}}$.

De aici, rezultă

$$P_{max} = \frac{\gamma_a \cdot a_1}{f}\left[1 - \frac{\left[a_1 - \left(l_a + 1{,}6\sqrt{\frac{H}{f}}\right)\right]^2}{a_1^2}\right]\cos\alpha$$

Ipoteza încovoierii stratelor din acoperișul abatajelor grupează mai multe ipoteze, asemănătoare între ele:

Ipoteza grinzilor în consolă deosebește un *acoperiș direct* care se găsește deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci care în cazul în care nu sînt susținute se surpă ușor, și un *acoperiș principal*, care se găsește deasupra acoperișului direct sau în unele cazuri chiar deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci rezistente care se surpă greu;

ipoteza presupune că stratele de rocă situate deasupra abatajului pot fi considerate ca niște grinzi sau plăci încastrate la unul din capete în masiv, celălalt capăt sprijinindu-se pe susținere, pe roca surpată sau pe rambleu (fig. XVI.93).

Conform acestei ipoteze, presiunea asupra susținerii din abataj este dezvoltată de momentele încovoietoare care apar în consola acoperișului direct și uneori în consola acoperișului principal. Aceasta, datorită faptului că la un moment dat și acoperișul principal poate fi în consolă, în care caz el se sprijină pe rocile surpate din acoperișul direct, acoperișul principal suferind încovoieri sau rupturi periodice. În consecință, presiunea asupra susținerii obișnuite a abatajului va fi: $P = \gamma_a \cdot m$ sau: $P = \sum_{i=1}^{n} \gamma_a \cdot m$.

Pentru înlăturarea presiunilor exagerate, capătul liber al acoperișului direct se scurtează periodic prin prăbușire.

Ipoteza grinzilor în consolă are meritul că explică în mod satisfăcător modul de concentrare a tensiunilor în zona frontului de lucru și modul de distribuire a presiunii de reazem pentru rocile de diferite rezistențe.

Ipoteza plăcilor consideră că datorită greutății proprii a stratelor din acoperiș și greutății stratelor acoperitoare, se vor transmite în pereții spațiului exploatat presiuni concentrate (P_r) (fig. XVI. 94). Pe măsura creșterii spațiului exploatat, stratele — fiind supuse la tensiuni de încovoiere crescînde, proporționale cu distanța dintre reazeme — se

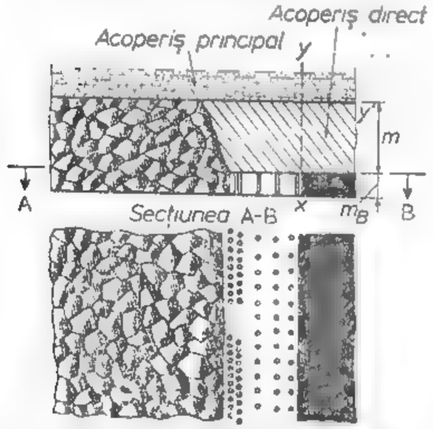


Fig. XVI.93. Acoperiș direct sub forma unei grinzi în consolă în cazul exploatării cu prăbușire totală.

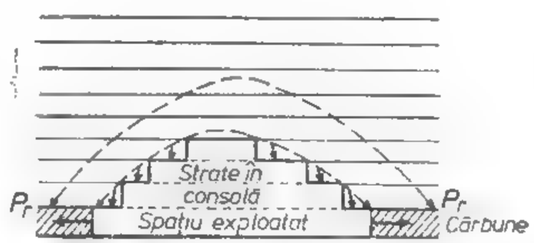


Fig. XVI.94. Schema transmiterii presiunii de reazem după ipoteza plăcilor; P_r — presiunea de reazem.

vor surpa, rămînînd lateral numai porțiuni în consolă, reduse ca lungime. Ca urmare surpării stratelor, se formează deasupra spațiului exploatat o excavație sub formă de boltă, denumită de K. Kegel *boltă aparentă de presiune.*

Pentru ca presiunea asupra susținerii din spațiul de abataj să fie cît mai redusă, este necesar ca plăcile în consolă să fie surpate periodic la un anumit interval, denumit *pas de surpare.*

Ipoteza fisurării prealabile. Conform acestei ipoteze Labasse consideră că în strat, în zonele situate în fața frontului de lucru, are loc formarea unor fisuri cauzate de diferența mare dintre tensiunile principale care apar în rocile situate în zona tensiunilor mărite.

Stratele de roci supuse fisurării suplimentare în zona a doua își pierd rezistența la tracțiune, rezistînd la încovoiere numai datorită frecărilor care se nasc sub influența eforturilor tangențiale de valoare ridicată. Ele sînt pretensionate de rocile acoperitoare, care acționează după legitatea grinzilor în consolă, a căror elasticitate depinde de gradul lor de fisurare. Rocile sînt cu atît mai elastice, cu cît gradul lor de fisurare este mai redus. Deoarece au loc deformații pseudoplastice, rezultă că încovoierea stratelor de rocă depinde nu numai de rezistența lor, deschiderea spațiului de lucru al abatajului și mărimea sarcinilor, ci și de timp. Stratele rigide lipsite de fisuri se încovoaie mult mai puțin decît stra-

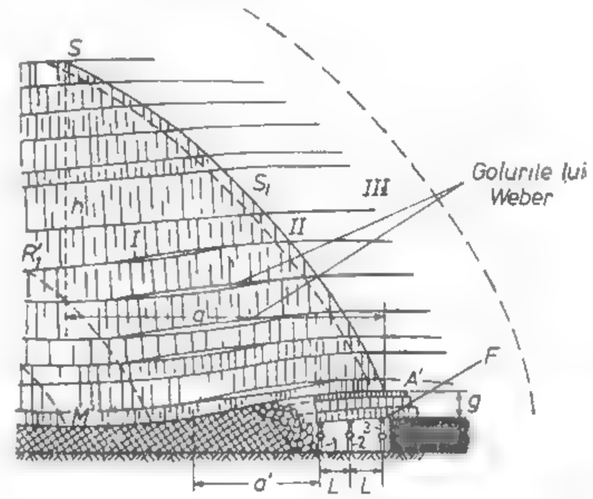


Fig. XVI.95. Formarea golurilor lui *Weber* după ipoteza lui Labasse.

tele elastice sau mai fisurate care preiau greutatea lor cînd acestea din urmă sînt situate deasupra. Stratele rigide nu participă la încovoiere, dacă stratele elastice sînt situate dedesubt. Această convergență separată a stratelor elastice față de stratele rigide determină formarea unor goluri, numite *golurile lui Weber* (fig. XVI. 95), goluri care împreună cu fisurile formate creează condiții de migrare a gazelor, de circulație a apelor în cazul cînd abatajele sînt situate sub nivelul hidrostatic.

Se remarcă: aptul că în ipoteza lui *Labasse* există o concepție logică, potrivit căreia în jurul lucrărilor de abataj se formează o rețea de fisuri sub influența cărora rocile își modifică proprietățile mecanice.

Presiunea creată de rocile acoperișului direct care se surpă asupra stîlpului 2 (fig. XVI. 95) va fi:

$$P_1 = LL' \, (g \cdot \gamma_a \cos \alpha + p)$$

unde: LL' este distanța dintre stîlpi pe direcție;

p — presiunea creată prin destinderea uniformă a rocilor acționînd perpendicular pe planele de stratificație.

În lipsa intercalațiilor, valoarea lui p poate fi neglijată și deci:

$$P_1 = LL' g \cdot \gamma_a \cdot \cos \alpha$$

Asupra susținerii mai acționează și o parte a presiunii create de rocile din triunghiul cu baza a și înălțimea h, precum și presiunea specifică de destindere p și deci:

$$P_2 = F \cdot L' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cos\alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

unde: F este coeficient care determină cota parte din presiunea de reazem ce rămîne unui stîlp.

Presiunea maximă va fi: $P = P_1 + P_2$ și deci:

$$P_{max} = LL'g \cdot \gamma_a \cdot \cos\alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cdot \cos\alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

Dacă elasticitatea stîlpului este e, iar săgeata acoperișului în punctul respectiv este f atunci:

$$P_{max} = LL' \cdot g \cdot \gamma_a \cos\alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma \cos\alpha + \frac{a}{2} \cdot p \right) e \cdot f$$

Din categoria ipotezelor care nu pot fi încadrate în primele două grupe, fac parte printre altele:

Ipoteza surpărilor în trepte aplicabilă pentru cazul cînd în acoperișul zăcămîntului exploatat s-a format o zonă de tensiuni reduse, în formă de prismă triunghiulară cu baza ceva mai mare ca lățimea abatajului (fig. XVI.96).

Pe măsura înaintării frontului de abataj, zona de tensiuni reduse va crește de la lățimea a la lățimile a_1 și b_2. În cazul cînd $H = \frac{a}{2}$, unde H este adîncimea de la suprafață și a semilățimea abatajului, zona de tensiuni reduse va atinge suprafața, iar partea în

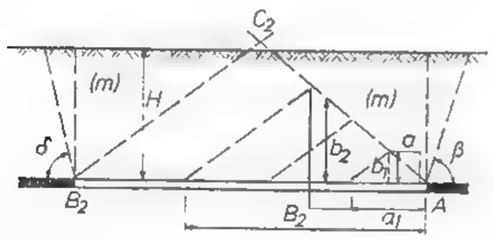


Fig. XVI.96. Schema de calcul a presiunii asupra tavanului abatajelor (după P. M. Țimbarevici).

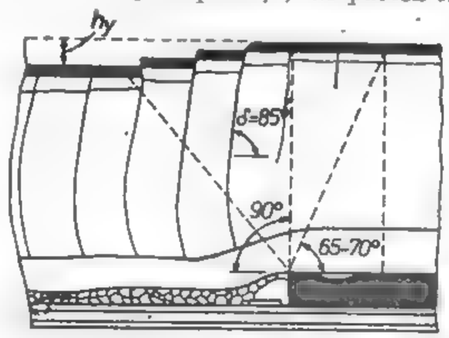


Fig. XVI.97. Schema deformării în trepte a rocilor din acoperișul stratelor, cînd zăcămîntul se află la adîncime mică.

consolă m a formațiunilor de roci acoperitoare va începe să se fisureze. Planurile de fisurare, respectiv de rupere vor forma cu planul orizontal, dus prin tavanul abatajului, unghiurile δ — în partea înspre care înaintează abatajul și β în partea opusă.

Aceste fisuri delimitează coloana de roci sterile în prisme de alunecare care au anumite dimensiuni. Valoarea cea mai ridicată a presiunii va avea loc pentru situația cînd frontul de lucru se găsește între două crăpături (fig. XVI. 96).

Ipoteza blocurilor articulate emisă de G. M. Kuznețov consideră că rocile din acoperișul stratului de cărbune se fisurează și se desprind sub forma unor blocuri. Autorul distinge două zone de surpare a blocurilor (fig. XVI. 97):

— zona surpărilor neregulate, formată din rocile acoperișului direct, avînd un coeficient de afînare de $K = 1{,}25 - 1{,}4$;

— zona surpărilor regulate, formată din rocile mai rezistente ale acoperișului principal, în care fisurația este mai puțin pronunțată, iar blocurile desprinse suferă o deplasare mai ordonată, rocile în ansamblul lor avînd un coeficient de afînare de $K = 1{,}05 - 1{,}15$.

În zona surpărilor regulate, blocurile separate între ele prin fisuri nu își pierd complet legătura între ele, formînd un sistem articulat cu mai multe verigi, care se lasă în mod ordonat asupra spațiului exploatat. Observațiile directe din subteran, precum și concluziile desprinse în urma studierii fenomenului pe materiale echivalente, au arătat că înălțimea zonei de surpare nu depășește de 4—5 ori grosimea stratului de cărbune.

Rezultă că pentru păstrarea portanței rocilor din acoperiș și împiedicarea fenomenului de fragmentare a acestuia, capacitatea portantă a susținerilor nu trebuie să aibă valori ridicate.

3.4. STUDIUL MANIFESTĂRII PRESIUNII MINIERE PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

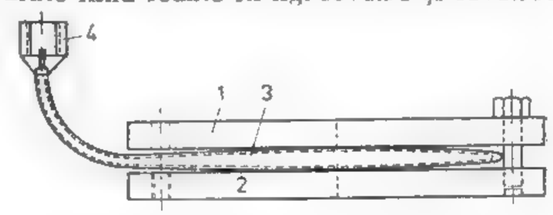
Măsurarea directă a presiunii care acționează în excavațiile subterane se realizează cu aparate funcționînd pe principii mecanice, hidraulice, electrice sau pe principii combinate.

Aparatele *mecanice* se bazează fie pe deformarea în limite elastice ale unor dinamometre, fie pe mărimea urmei lăsate de către bile de oțel în plăci de oțel cu rezistență redusă.

Aparatele *hidraulice* se bazează pe proprietatea de incompresibilitate a lichidelor ca: mercur, ulei, glicerină etc. astfel de aparate fiind redate în fig. XVI.98 și XVI.99.

Fig. XVI.98. Dinamometru hidraulic Wohlbier-Ambatiello:

1, 2 — plăci de solicitare; *3* — aparatul propriu-zis; *4* — mufă de legătură cu aparatul de măsurare a presiunii.



Aparatele *electrice* se bazează, în cazul cel mai general, fie pe metoda tensometriei electrice, fie pe modificarea frecvenței vibrării unor coarde de oțel în funcție de solicitare (fig. XVI. 100).

Aparatele combinate sînt, în general, aparate electro-hidraulice combinînd cele două caracteristici, în scopul obținerii unei precizii mai mari (fig. XVI.101). Folosirea diferitelor tipuri de aparate se face în funcție de loc, de rocă, condițiile exsitente și de precizia urmărită. Măsurătorile se realizează prin amplasarea aparatelor între susținere și rocă, prin încastrarea acestora în beton, între tavan și vatră sau prin menținerea lor în spațiul surpat.

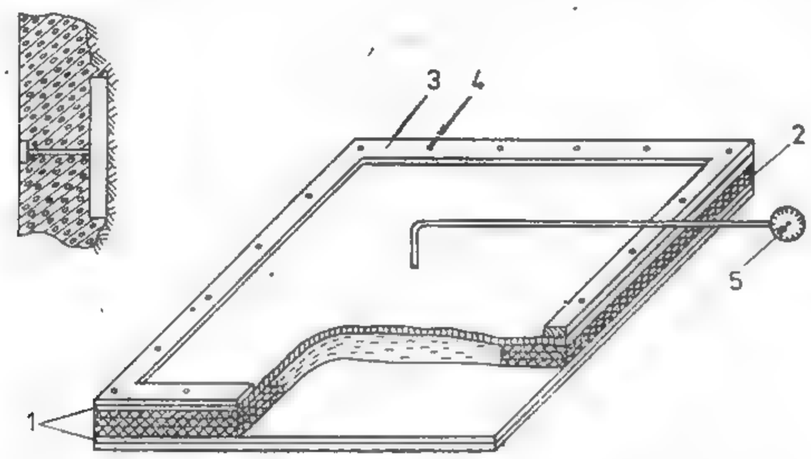


Fig. XVI.99. Aparat hidraulic — tip I.M.P.—3:

1 — plăci de solicitare; *2* — garnitură de etalonare; *3* — rama de prindere; *4* — şuruburi de legătură; *5* — aparat de măsurare.

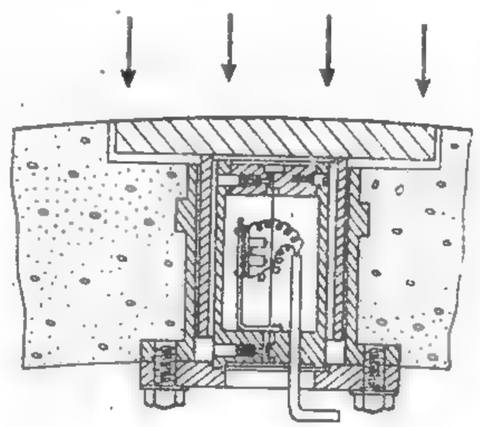


Fig. XVI.100. Aparat pentru măsurarea presiunii radiale.

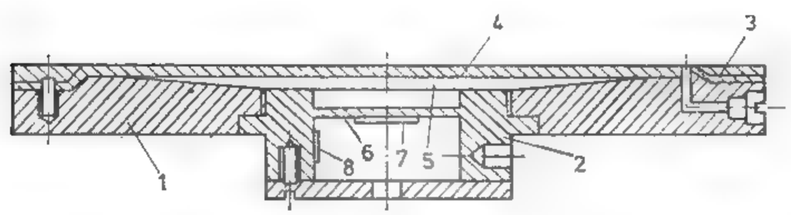


Fig. XVI.101. Aparat electric tip Freiberg:

1 — corp metalic; *2*—cilindru de legătură; *3*—inel de etanşare; *4*—membrană elastică; *5* — cameră cu lichid sub presiune; *6* — membrană elastică de oţel; *7* — marcă tensometrică activă; *8* — marcă tensometrică de compensare.

În urma unui mare număr de măsurători, pentru a putea trage concluzii juste şi folositoare, este necesar ca rezultatele obţinute în măsurătorile individuale să fie prelucrate.

3.5 STUDIUL MODULUI DE MANIFESTARE A PRESIUNII PRIN METODA MODELĂRII CU MATERIALE ECHIVALENTE

Datorită faptului că metodele teoretice de cercetare a stărilor de tensiuni, a presiunilor şi deplasărilor de roci s-au dezvoltat pentru cazuri ideale, şi faptului că modul de manifestare a presiunii este determinat de o serie de cauze şi factori care acţionează simultan, lucru ce implică studiul acestora în natură, în prezent se folosesc pe o scară din ce în ce mai mare studii prin metoda modelării.

Această metodă constă în înlocuirea rocilor natuale, respectiv a substanţei minerale utile, care se cercetează, cu materiale artificiale avînd proprietăţi fizice, mecanice şi elastice similare, respectîndu-se legile similitudinii dintre obiectul de modelat şi modelul de laborator experimental.

Similitudinea geometrică (α_L) impune ca raportul între dimensiunile liniare din natură şi dimensiunile liniare corespunzătoare din model să rămînă constante, adică:

$$\frac{L_n}{L_m} = \alpha_L = \text{constant}, \tag{3.75}$$

Similitudinea cinematică (α_t) consideră că particulele de rocă din natură, respectiv cele din model, deplasîndu-se după o traiectorie geometric asemănătoare, parcurg în unitatea de timp un drum geometric asemănător, adică;

$$\frac{T}{t} = \alpha_t = \text{constant}, \tag{3.76}$$

Similitudinea dinamică (α_γ) se obţine atunci cînd masele punctelor asemănătoare din natură şi din model se deosebesc printr-o constantă:

$$\frac{\gamma_{aN}}{\gamma_{aM}} = \alpha_\gamma = \text{constant}. \tag{3.77}$$

Pornindu-se de la legile de bază ale similitudinii, se pot stabili relaţiile de dependenţă dintre materialele, respectiv rocile din natură şi cele din model. Astfel, în cazul proceselor de deformare şi rupere, se deosebesc următoarele relaţii:

$$\begin{aligned} \sigma_{rcM} &= \sigma_{rcN} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ \sigma_{rtM} &= \sigma_{rtN} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ c_M &= c_N \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \\ \text{tg}\varphi_M &= \text{tg}\varphi_N, \end{aligned} \tag{3.78}$$

Condițiile asemănătoare ale proceselor în domeniul elastic necesită următoarele cerințe:

$$E_M = E_N \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \tag{3.79}$$

Condiția de asemănare a proceselor în domeniul deformărilor plastice este dată de relația:

$$\frac{\varepsilon_{pM}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_M} = \frac{\varepsilon_{pN}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_N} \tag{3.80}$$

cu respectarea condiției:

$$\varepsilon_e + \varepsilon_p = f(\sigma) \tag{3.81}$$

În cazul modelării unei coloane stratigrafice formată din mai multe strate cu proprietăți mecanice diferite, condițiile de modelare impun ca:

$$\frac{\gamma_{a1M}}{\gamma_{a1N}} = \frac{\gamma_{a2M}}{\gamma_{a2N}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \frac{\gamma_{anM}}{\gamma_{anN}};$$

$$\frac{\eta_{1M}}{\eta_{1N}} = \frac{\eta_{2M}}{\eta_{2N}} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \frac{\eta_{nM}}{\eta_{nN}},$$

Un parametru de bază în modelare este *valoarea* sau *scara timpului*; aceasta va fi determinată din relația:

$$\alpha_T = \frac{\eta_N}{\eta_M} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}, \tag{3.82}$$

Datorită greutăților intervenite în determinarea viscozității dinamice, în mod frecvent se folosește pentru scara timpului relația

$$\alpha_T = \sqrt{\alpha_L}. \tag{3.83}$$

Pentru diferite condiții, în funcție de natura materialelor alese pentru modelare și de scopul urmărit, totalitatea condițiilor de similitudine poate fi simplificată.

Pentru realizarea machetelor de materiale echivalente, se folosesc o serie de materiale, care după Departamentul de Proiectări în Mecanica Rocilor din S.U.A. pot fi

clasificate astfel:

- Materiale pentru modelare
  - granulare
    - cimentate cu
      - mortar
      - ciment
      - ulei și vaselină
      - rășini
      - argilă
    - necimentate
  - negranulare
    - plastice
      - plastice simple
      - plastifianți
    - neplastice
      - metalice
      - nemetalice
        - granulare
        - negranulare

În mod obișnuit se folosesc materiale granulare necimentate sau cimentate cu ulei, vaselină, gips, parafină, colofoniu etc.

Elementul care umple masa materialului echivalent este nisipul cuarțos sau mase artificiale asemănătoare. Solventul pentru materialele preparate la rece este apa — pentru gips, benzina — pentru vaselină. Amestecurile cu parafină și în parte cu materiale plastice sînt preparate la cald.

În afara liantului și a solventului, în compoziția materialelor echivalente pentru modelarea rocilor mai intră diferite adaosuri, avînd drept scop modificarea unor parametri ai acestora.

Din încercările realizate în laboratorul de mecanică a rocilor de la Institutul de Mine Petroșani s-a constatat că o modificare oricît de mică a unui singur parametru influențează proprietățile materialului echivalent.

Pentru realizarea încercărilor pe modele de materiale echivalente se folosesc standuri de modelare fixe sau rotative, plane sau volumetrice. În funcție de scara de modelare aleasă, standurile au lungimi de la cîteva zeci de centimetri, la cîteva zeci de metri și lățimi corespunzătoare scării.

Pentru punerea în evidență a modului în care se deformează diferite categorii de roci din jurul unei lucrări miniere orizontale, au fost întreprinse o serie de cercetări pe standuri plane, avînd ca materiale echivalente:

— plastilină (proprietăți plastice pronunțate);

— parafină (proprietăți elasto-casante);

— nisip + parafină (proprietăți variabile în funcție de cantitatea de parafină, granulometria nisipului etc.).

În urma încercărilor efectuate pe modelele din gelatină-glicerină au fost obținute rezultate însemnate referitoare la modul de deformare a rocilor (fig. XVI.102).

Ca o deficiență a încercărilor se poate semnala faptul că acestea nu indică mărimea tensiunilor din jurul lucrărilor miniere. Încercările realizate prezintă și deficiența că nu au luat în considerare reacțiunea susținerii.

Studii mai complexe efectuate pe materiale echivalente stratificate, cu luare în considerare a reacțiunii susținerii, au pus în evidență modul de comportare, de deformare și rupere a rocilor în situații care se apropie de situațiile reale din natură. Astfel, au fost executate lucrări miniere circulare, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor tuburi cilindrice de cauciuc în care s-a introdus apă sub presiune, presiunea creată fiind echivalentă cu reacțiunea susținerii. În urma acestor încercări, s-au constatat următoarele:

— cînd modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm² și unei presiuni orizontale de 15 daN/cm², reacțiunea susținerii fiind zero, roca înconjurătoare s-a deformat astfel încît secțiunea lucrării s-a redus cu circa 60%;

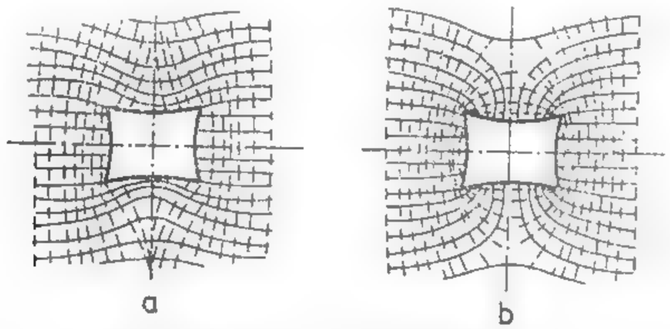


Fig. XVI.102. Model de gelatină-glicerină cu posibilitate de deformare liberă:

a — numai în lungul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale; *b* — numai spre interiorul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale (după E. Lehr, K. Seidl).

— cînd modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm² și unei presiuni orizontale de 21 daN/cm², reacțiunea susținerii fiind de circa 1 daN/cm², secțiunea lucrării a fost redusă cu 34 % din secțiunea inițială;

— cînd presiunea verticală a fost de 22 daN/cm², presiunea orizontală de 15,5 daN/cm², iar reacțiunea susținerii de 3,5 daN/cm², secțiunea lucrării a suferit o reducere de numai 18%.

Încercările de acest fel sînt foarte utile, cu ajutorul lor putîndu-se stabili, pentru diferite condiții din natură, felul și reacțiunea necesară a susținerii, astfel ca lucrarea minieră să fie stabilă.

Un studiu asemănător a fost realizat, în Laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, pentru proiectarea tunelului de acces în subteran la mina Șuior. Cu ajutorul unui stand plan s-a studiat forma optimă a profilului transversal al tunelului, reacțiunea necesară a susținerii, modul de deformare și rupere a rocilor înconjurătoare.

Rocile au fost modelate ținînd seama de legile similitudinii, proprietățile acestora fiind realizate pentru scara de modelare 1:50. Solicitarea asupra susținerii a fost realizată prin intermediul unor pîrghii de care s-au atîrnat anumite greutăți. Susținerea a fost modelată dintr-o membrană de cauciuc, iar reacțiunea susținerii s-a realizat prin presiunea de aer în interiorul membranei. Concluziile la care s-a ajuns au indicat o secțiune transversală sub formă de potcoavă cu vatră curbată și o susținere din beton, avînd grosimi variabile funcție de rocile străbătute.

Pentru studiul fenomenelor din jurul lucrărilor miniere verticale se folosesc de obicei standuri volumetrice. Un asemenea stand a fost realizat în laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, urmărindu-se solicitarea asupra susținerii, mișcările de roci, precum și variația tensiunilor verticale și a celor radiale. În principal, standul a fost format dintr-o coloană centrală care a imitat puțul propriu-zis, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor pastile hidraulice. De la fiecare pastilă hidraulică, prin intermediul unor tuburi flexibile, s-a făcut legătura cu un tub capilar cu ajutorul căruia a putut fi determinată solicitarea asupra susținerii.

Deplasarea rocilor a fost urmărită cu ajutorul unor repere prevăzute cu microcomparatoare, iar starea de tensiune a fost determinată cu ajutorul unor microdinamometre tensometrice.

Pe măsura încărcării modelului cu materiale echivalente în strate succesive, acesta a fost închis într-o cămașă metalică.

Modelarea lucrărilor miniere de abataj este asemănătoare cu modelarea lucrărilor minere orizontale, cu deosebirea că în acest caz standurile de modelare au dimensiuni cu mult mai mari, pentru a putea urmări totalitatea fenomenelor pe măsura avansării frontului de lucru.

4. STABILITATEA TALUZELOR

4.1. CONSIDERAȚII PRIVIND CONDIȚIILE ȘI FACTORII CARE DETERMINĂ STABILITATEA TALUZELOR

Problema stabilității taluzelor în roci este legată de activitatea minieră de producție din exploatările la zi, de realizarea construcțiilor hidrotehnice, feroviare, rutiere, de executarea galeriilor de coastă pentru activitatea minieră subterană, protejarea zonelor locuite sau cultivate cu relief accidentat. Dacă evaluarea stabilității taluzelor în cazul construcțiilor feroviare și rutiere este o problemă oarecum simplă și realizabilă cu costuri reduse, ea constituie o problemă de prim ordin atît din punct de vedere tehnic cît și economic în cazul exploatărilor la zi (carierele adînci, pentru asigurarea stabilității taluzelor în timpul exploatării: carierele de lignit din Oltenia, carierele de șisturi bituminoase de la Anina, carierele de la Moldova Nouă, Roșia Poeni etc.), a construcțiilor hidrotehnice și a celorlalte domenii precizate. Mai mult, se impune proiectarea acestor taluzuri și analizarea stabilității lor.

A proiecta un taluz înseamnă a-i determina forma, panta și înălțimea lui în condiții de stabilitate asigurată. Pe plan mondial s-a ajuns cu carierele la adîncimea de 1000 m. La asemenea lucrări, mai ales, asigurarea stabilității taluzelor face ca problema configurației acestora să devină un factor deosebit de important în aprecierea economicității, deoarece cantitatea de steril ce trebuie dislocată se modifică în funcție de dimensiunile geometrice ale taluzului (pentru o creștere a pantei taluzelor cu 1°, la o carieră cu dimensiunile 300 × 300 × 100 m se extrage în plus 1 milion tone de minereu).

Stabilitatea taluzelor se exprimă printr-un *coeficient de siguranță* η sau *factor de stabilitate* F_s, ca și raportul dintre forțele de rezistență și cele de alunecare și deci pentru a avea un taluz stabil trebuie ca $\eta > 1$; $\eta = (\Sigma F_r / \Sigma F_{1a}) \geqslant 1$, adică să existe o rezervă de stabilitate.

Calitativ, conceptul de stabilitate reprezintă o nedeterminare. Coeficientul η sau F_s se ia mai mare, în funcție de gradul de nedeterminare a problemei. Stabilitatea are un caracter relativ: 1) atît din punct de vedere a timpului, coeficientul de stabilitate avînd valori diferite pentru taluzuri cu durată diferită (definitive sau de exploatare): $\eta = [(T+b)/a]^{1/n}$; unde a și b sînt coeficienți ce depind de proprietățile de rezistență ale rocilor; n — coeficientul funcție de natura rocii și comportamentul acesteia la rupere prin forfecare (tabelul XVI. 30); T — durata taluzului (tabelul XVI. 31); 2) cît și din punct de vedere spațial valoarea coeficientului de stabilitate η variază de la $\eta = 2-2{,}5$ la partea superioară a taluzului, pînă la $\eta = 1-1{,}3$ la baza lui.

Pierderea stabilității poate avea loc prin apariția și dezvoltarea suprafețelor de rupere în interiorul masivului, prin dezvoltarea zonelor de deformare neelastică sau datorită fenomenului de fluaj, consecințe ale stării de tensiune secundară creată în

masiv odată cu executarea în acesta a taluzului. Ca urmare a stării de tensiune secundară ce apare în taluzuri, imediat ce acestea s-au executat în masivele de rocă, fenomenul de pierdere a stabilității lor este de așteptat în cazul în care proiectarea elementelor taluzelor nu s-a realizat în contextul acestei stări și a tuturor factorilor ce determină stabilitatea lor (tabelul XVI.32).

Tabelul XVI.30

Valori ale coeficienților utilizați în determinarea stabilității de durată a taluzelor

Caracterizarea structural-texturală a rocii sau masivului	Valoarea unghiului de taluz θ [grade]								
	10°–30°			30°–60°			> 60°		
	a	*b*	*n*	*a*	*b*	*n*	*a*	*b*	*n*
Omogene, neafectate de suprafețe de minimă rezistență sau slăbiri structurale; stabile	1,2	0,9	6,0	1,17	0,92	5,2	1,15	0,95	4,8
Omogene, slab fisurate; de stabilitate medie	1,15	0,88	5,5	1,08	0,87	4,8	1,10	0,86	4,6
Omogene, fisurate, de stabilitate mică spre medie, adică potrivită	1,05	0,84	5,0	1,03	0,82	4,6	1,05	0,8	4,2
Neomogene constituite din blocuri; repartizarea tensiunilor în masiv este neuniformă	1,05	0,8	4,5	1,02	0,75	4,3	1,0	0,7	4,0

Tabelul XVI.31

Coeficientul de siguranță în funcție de durata taluzului

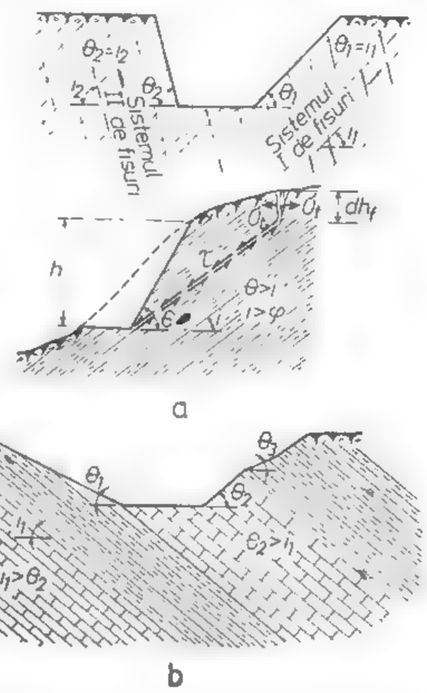
Coeficientul de siguranță	Durata de existență a taluzului *T* [ani]
1,1–1,	1
1,2–1,5	<20
1,5–2,0	>20
3	seculară

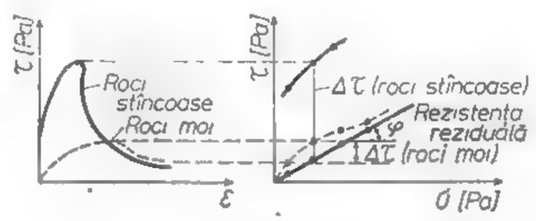
Tabelul XVI.32

Factorii care determină stabilitatea taluzelor

Grupa de factori	Factorii	Caracterizarea succintă a influenței factorilor asupra stabilității taluzelor
	1	2
0	(Grupa proprietăților de legătură create în timp de fenomenele geotectonice)	
	1°. *Natura litologică: structura și textura masivului: compoziția mineralogică. Natura și cimentul de legătură.*	Cunoașterea proprietăților ce caracterizează geologic și tectonic structural și textural masivul de rocă este un indicator calitativ cu privire la alegerea, proiectarea și verificarea elementelor geometrice ale taluzelor și a stabilității lor. În acest context se impune cunoașterea elementelor geometrice (orientarea, înclinarea), a parametrilor ce caracterizează fragmentarea naturală a masivului, a suprafețelor de minimă rezistență (stabilitate mai mică la o înclinare conformă și mai mare la o înclinare inversă), tabelul XVI.32. Natura litologică, tipul de masiv influențează și cantitativ valorile elementelor geometrice ale taluzelor (tabelul XVI.32). Recomandările orientative privind alegerea acestor elemente (θ și *h*) ale taluzelor au în vedere: structura și tectonica masivului, alcătuirea structurală, direcția și înclinarea stratelor și a fisurilor (fig. XVI.103); poziția stratelor (taluzele proiectate pe o direcție paralelă cu a stratelor, fisurilor etc. sînt mai puțin stabile decît cele orientate perpendicular pe această direcție); orientarea înclinării stratelor, fisurilor etc. (cînd panta taluzului și înclinarea stratelor cad în aceeași parte, ne aflăm în cea mai defavorabilă situație a stabilității; cînd înclinarea stratelor cade spre taluz, rezerva de stabilitate este de cîteva ori mai mare). Căderea accidentelor tectonice de aceeași parte cu panta taluzului duce la pierderea stabilității lui
	2°. *Fragmentarea naturală a masei de rocă* la scară cristalină; la scară mare (stratificația, șistozitatea, disjoncțiunea, divizibilitatea, fracturarea, falierea); *istoricul tectonicii masivului: heterogenitatea* (heterotropia și anizotropia masivului).	

Tabelul XVI. 32 (continuare)

0	1	2
Grupa proprietăților de legătură create în timp de fenomenele geotectonice	3°. *Regimul hidrogeologic și climateric* (influența apelor de suprafață, subterane)	chiar în cazul cînd stratele-fisurile etc. înclină spre taluz. Se impune deci o cunoașterea aprofundată și temeinică a acestor parametri local și regional, deoarece funcție de ei se va alege schema și metoda de calcul a stabilității taluzelor.  Fig. XVI.103. Factorii care influențează valoarea θ și *h*: *a* — direcția și înclinarea fisurilor concordantă cu θ; *b* — discordantă cu θ.

Grupa proprietăților fizico-mecanice	1°. *Caracteristici fizice de densitate* (greutatea specifică aparentă, porozitatea, indicele golurilor). 2°. *Caracteristici fizice referitoare la faza lichidă din rocă* (umiditatea naturală, umiditatea la saturație și gradul de saturație, capacitatea de adsorbție-absorbție) 3°. *Caracteristici fizice referitoare la faza solidă a rocii* (analiza granulometrică). 4°. *Caracteristici fizice referitoare la sistemul trifazic al rocii* (permeabilitatea, proprietățile de filtrare, gradul de filtrare, gradul de alterare, de dezagregare). 5°. *Caracteristici de rezistență* (tracțiune, compresiune, forfecare), coeziunea și unghiul de frecare interioară, unghiul de taluz natural, coeficientul de frecare, umflarea. 6°. *Caracteristici elastice și plastice.* 7°. *Caracteristici reologice*	Pierderea stabilității are loc atît la rocile moi cît și la cele stîncoase. În funcție de tipul de rocă, fenomenul de alunecare se manifestă însă diferit; la rocile moi pierderea de stabilitate se manifestă în prealabil prin o serie de deformații evidente, pe cînd la rocile stîncoase se produce instantaneu. Ruperea prin forfecare se produce diferit (fig. XVI.104).  Fig. XVI.104. Ruperea prin forfecare a taluzelor. Stabilitatea este practic controlată de rezistența reziduală $\Delta\tau = \tau_u$. Caracteristicile menționate trebuie determinate în vederea caracterizării masivului din punct de vedere al comportamentului său la deformare, al stabilității lui ca în final să se aleagă în mod judicios cele trei elemente principale de care depinde stabilitatea taluzelor, să se facă calculul de verificare a stabilității.
	1°. *Starea de tensiune primară*	Calculul taluzelor apelează în primul rînd la starea de tensiune primară a masivului și ca urmare, estimarea acestei sitări se impune a fi realizată înaintea oricărui calcul de proiectare. Cea mai recentă metodă de analiză a stării de tensiune (primare sau secundare) este *„metoda elementului finit* (MEF). Tehnica MEF folosește modelul matematic al mediului continuu constituit dintr-un număr mare de elemente interconectate prin noduri (fig. XVI.105). Modelul este

Tabelul XVI. 32 (continuare)

0	1	2
Comportamentul la deformație a masivului	2°. *Starea de tensiune secundară*	o ecuație de echilibru obținută prin liniarizarea ecuațiilor de deplasare date de teoria elasticității. Din cauză că fiecare element poate avea proprietăți diferite, un asemenea model este recomandat pentru structuri complexe — roca sau masivul. Procedeul se realizează numai cu ajutorul calculatorului cu posibilități mari de înmagazinare a datelor. Pentru un element triunghiular unidimensional deplasarea u a unui nod al elementului este: $u = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix}$; $u_x = a_0 + a_1x + a_2y$; $u_y = b_0 + b_1x + b_2y$.

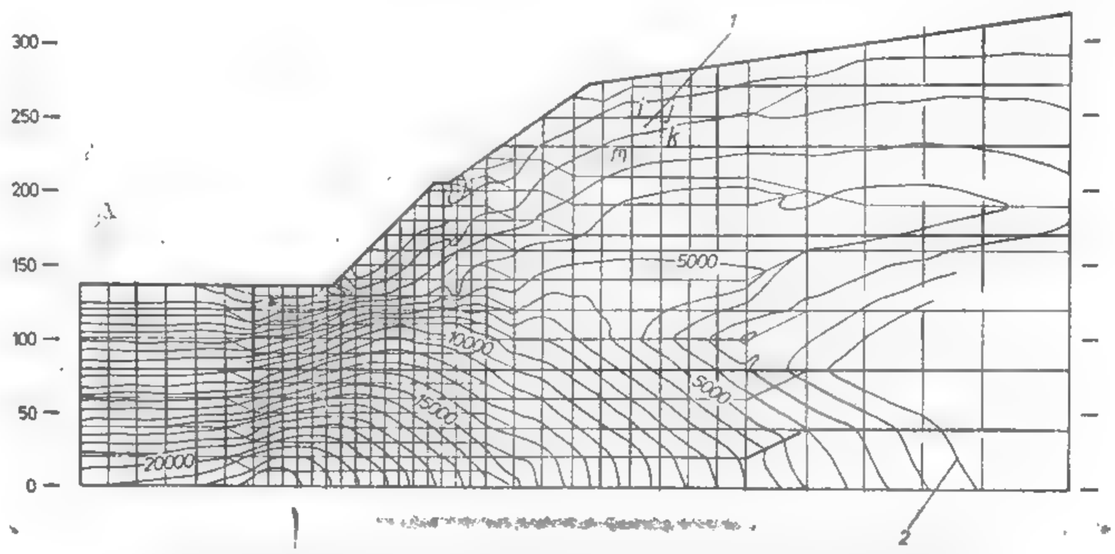


Fig. XVI.105. Metoda elementului finit (MEF) aplicată taluzelor.

		Relațiile între deformații, tensiunea de forfecare și expresiile de deplasare ale lui Havier: $\{F\} = [L]$ sînt: $\{\varepsilon\} = [l_1]\{u\}$; $\{\tau = [l_2]\ \{\varepsilon\}$; $\{F\} = [l_3]\{\tau\}$ unde: $[L] = L_{ij} = [l_3][l_2][l_1]$, care se liniarizează prin înlocuirea operatorului diferențial $[l_1]$ cu operatorul algebric liniar $[\bar{l}_1]$. Deci. $\{\varepsilon\} = [\bar{l}_1]\{u\}$.
Grupa factorilor de factură geometrică și tehnologică	1°. *Elementele geometrice ale taluzului* (forma, panta și înălțimea taluzului).	Stabilitatea taluzelor depinde de elementele lui geometrice, fig. XVI.106 (de exemplu pentru un $\theta = 60-70°$ probabilitatea de cedare a taluzului este foarte mare) de durata talu-
	2°. *Tipul de taluz sau durata acestuia*	
	3°. *Existența suprasarcinilor* (utilajele de excavație, mijloace de transport etc.).	
	4°. *Prezența bermelor*	zului (tabelul XVI.33), de tehnologia curentă de extragere (tabelul XVI.34). Elementele geometrice, unghiul și înălțimea taluzului care asigură o deplină stabilitate trebuie să fie evaluate și pe considerentul siguranței și a condițiilor de exploatare (omogenitatea grosimii rocilor sterile și a utilului din fiecare treaptă; bermele amplasate pe formațiuni rezistente; o bună folosire a utilajului, concordanță parametrilor lor cu

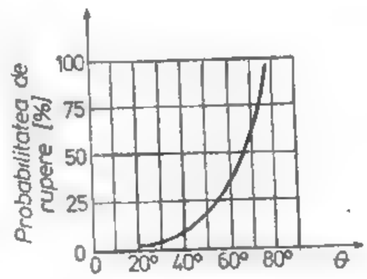


Fig. XVI.106. Dependența stabilității taluzelor de elementele sale geometrice — valoarea unghiului θ.

Tabelul XVI. 32 (continuare)

0	1	2
Grupa factorilor de factură geometrică și tehnologică	5° *Procedeul de extragere cu explozivi* (cantitatea de exploziv, monografia de perforare-împușcare).	dimensiunile frontului, extragerea treptei pe întreaga înălțime etc.), tabelul XVI.34. Taluzele suportă o gamă mare de suprasarcini, (fig. XVI.107) care trebuiesc estimate în prealabil printr-o fructuoasă colaborare inginer minier-cercetător-proiectant. Bermele sînt mijloace constructive care ne stau la îndemînă pentru creșterea rezervei de stabilitate a taluzelor (fig. XVI.108), deoarece fiecare treaptă are panta θ_0 sau ($1 : m_0$) panta medie a taluzului prevăzut cu berme fiind mai mică decît panta treptei ($\theta < \theta_0$) rezerva de stabilitate este mai mare; mai mult, creșterea aceasta este datorată și faptului că aceste berme cad întotdeauna în prismul pasiv și ca urmare acțiunea masei Q de rocă devine favorabilă stabilității. Șocul exploziilor reduce rezistența rocii pînă la pierderea stabilității, prin fisurile create pînă la circa 20—50 m în interiorul masivului.

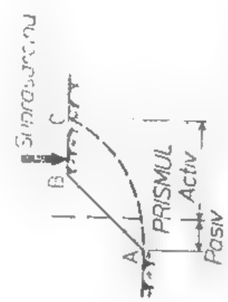


Fig. XVI.107. Acțiunea sarcinilor exterioare asupra taluzului.

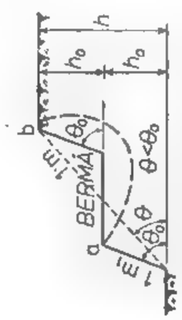


Fig. XVI.108. Bermele ca mijloace de creștere a rezervei de stabilitate a taluzelor.

Tabelul XVI.33

Unghiul de taluz funcție de durata lui de existență

Tipul și natura rocii	Valoarea maximă a unghiului de taluz e°_{max} [grade]	
	Taluz de scurtă durată	Taluz de lungă durată
Roci magmatice și metamorfice omogene	80—90	55—65
Roci magmatice obișnuite	70—80	
Roci sedimentare monolitice	50—60	50—55
Roci metamorfice de tipul șisturilor cristaline; roci sedimentare: gresii și grezoase	40—50	—
Roci sedimentare: argile, marne, marne argiloase, argile-nisipoase, argile-marnoase	35—45	25—45 în funcție de umiditate

Tabelul XVI.34

Valori ale înălțimii treptelor întîlnite în practica curentă

Tipul și natura rocii	Procedee-tehnici de extragere	Înălțimea treptelor-taluzelor h [m]
Roci aluvionare clastice și cu coeziune foarte mică	Extragere manuală	4
Roci de tărie medie și mare	Prin perforare-împușcare și încărcare cu excavatoare	20—30
	Prin împușcări masive (încărcături concentrate, găuri de sondă, camere de minare) sau utilaje mecanice de tăiere	25—60
Roci eruptive de tărie foarte mare	Prin perforare și împușcări masive	nelimitată

4.2. FORMA SUPRAFEȚELOR DE RUPERE ȘI PROCEDEE DE CALCUL ALE ACESTORA

Pierderea stabilității taluzelor se finalizează prin ruperea acestora. Ruperea este prezentată diferit și în multe moduri. În baza situațiilor celor mai frecvente, întîlnite practic în exploatările la zi, prezentările modului de rupere redate de literatură pot fi încadrate sinoptic în următoarele tipuri:

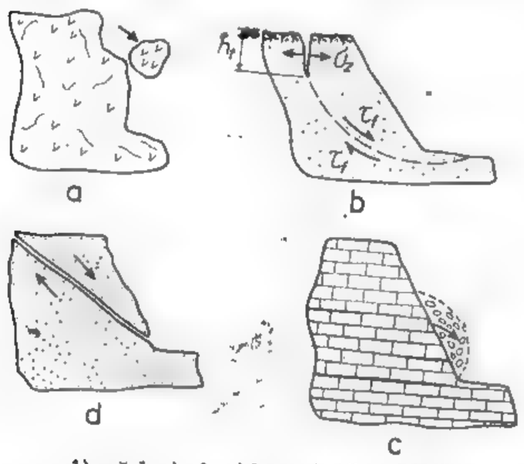


Fig. XVI.109. Tipuri de rupere a taluzelor.

1) căderi de blocuri (fig. XVI.109, *a*), caracteristic rocilor foarte fisurate, care în realitate sînt constituite din blocuri slab legate între ele și care în cazul cînd panta taluzului este mai mare decît unghiul de echilibru natural al blocurilor, acestea se vor desprinde. Cauza unor asemenea desprinderi este reducerea coeziunii dintre blocuri în urma acțiunii agenților atmosferici;

2) alunecări pe suprafețe curbe (fig. XVI.109, *b*), caz în care ruperea se produce prin rotirea mai mare de rocă de-a lungul unei suprafețe curbe de o anumită formă (cilindrică, poligonală). Cauza unor astfel de ruperi este neconcordanța între geometria taluzului și rezistența de rupere la forfecare, care conduce la concentrări de tensiune secundară apreciabile, ce implică modificări neelastice în masivul de rocă;

3) desprinderi de blocuri, caracteristic rocilor uniforme, tari, neafectate de micro și macro fisuri ce ar permite ruperi plane. Ruperea în acest caz se produce prin fragmentarea rocii în punctele taluzelor unde apar concentrări maxime de tensiune și pierderi locale ale coeziunii. Un asemenea tip de rupere se produce fără o mișcare de volum de rocă și zonele incipiente de rupere nu pot fi stabilite decît numai prin cunoașterea stării secundare de tensiune și a concentrărilor acesteia;

4) ruperea plană după suprafețe geologice de minimă rezistență (fig. XVI.109, *d* și *c*).

4.3. CALCULUL STABILITĂȚII TALUZELOR

Atunci cînd pierderea stabilității taluzelor are loc prin fenomenul de alunecare în lungul unor suprafețe nete de rupere se aplică o serie de metode, mai simple sau mai complexe, care analizează echilibrul maselor de rocă clastică sau slab coezivă (nisipuri, grohotișuri, roci argilcase, pămînturi etc.) situate deasupra suprafeței de rupere.

În marea lor majoritate, metodele folosite în prezent în proiectare consideră suprafața de rupere ca avînd o formă plană și circular-cilindrică. *Metodele simple* stabilesc condițiile generale de echilibru ale taluzelor. Ele sînt bazate pe schematizări accentuate ale fenomenelor complexe de pierdere a stabilității. Cu toate acestea, asemenea metode permit evidențierea factorilor principali care condiționează apariția și dezvoltarea procesului de pierdere a stabilității.

4.3.1. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ CLASTICĂ

Se consideră un taluz executat într-un masiv de rocă clastică, caracterizat de $c = 0$ și $\varphi \neq 0$ (fig. XVI.110) și o particulă M de rocă, pe suprafața AB a acestui taluz, a cărei greutate este G. Asupra particulei acționează forțele T și T' (fig. XVI.110 *a*). Dacă taluzul este stabil, unghiul de taluz θ a fost ales în mod corespunzător atunci particula M va fi în echilibru. Condiția de echilibru limitată poate fi redată sub forma:

$$T = T' \tag{4.1}$$

unde: $T = G \sin \theta$ ca și componentă a greutății particulei și care tinde să dezechilibreze particula; $T' = N \cdot f = N \cdot \mathrm{tg}\, \varphi = G \cos \theta\, \mathrm{tg}\, \varphi$ ca și forța de frecare ce se opune dezechilibrării; φ este unghiul de frecare interioară, iar $f = \mathrm{tg}\, \varphi$ coeficient de frecare.

Înlocuind în relația (4.1) expresiile celor două forțe se obține: $\mathrm{tg}\, \varphi = \mathrm{tg}\, \theta$, adică: $\theta = \varphi$.

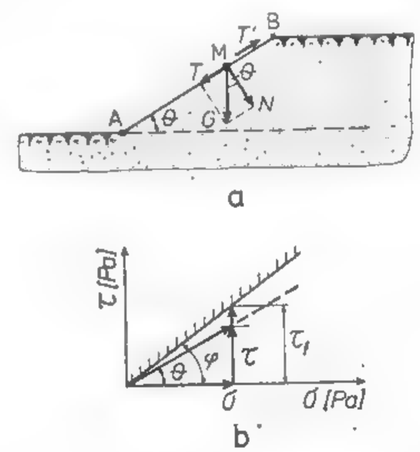


Fig. XVI.110. Taluz executat în roci clastice.

Plecînd de la expresiile eforturilor $\sigma = \dfrac{G}{A} \cos \theta$ și $\tau = \dfrac{G}{A} \sin \theta$ rezultă expresia unghiului de deviere (fig. XVI.110, *b*):

$$\mathrm{tg}\, \beta = \frac{\tau}{\sigma} = \mathrm{tg}\theta \tag{4.2}$$

și $\theta = \beta$, adică unghiul de deviere este egal cu cel al taluzului $\theta = \beta$. Conform definiției factorului de stabilire (F_s) sau a coeficientului de siguranță, η rezultă că:

$$F_s = \frac{\tau f}{\tau} = \frac{\frac{\tau f}{\sigma}}{\frac{\tau}{\sigma}} = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\theta} \tag{4.3}$$

La limită $T = T'$, adică $\theta = \beta$ și $F = 1$, rezultă că panta maximă a unui taluz stabil într-un masiv de rocă clastică nu depinde decît de unghiul de frecare interioară φ, adică: $\operatorname{tg}\theta_{critic} = \operatorname{tg}\theta_{max} = \operatorname{tg}\varphi$ și $\theta_{critic} = \theta_{max} = \varphi$ unde θ_{critic} este unghiul critic al taluzelor executate în roci clastice.

4.3.2. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ SLAB COEZIVĂ ȘI CU COEZIUNE MICĂ

În această situație (fig. XVI.111) roca este caracterizată prin $c \neq 0$ și $\varphi \neq 0$, iar ruperea se presupune că se realizează în conformitate cu ipoteza lui *Coulomb*, adică: $\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\varphi$. Plecînd de la condiția de echilibru limită (4.1) în contextul că $\frac{T'}{A} = \sigma f + c = \sigma \operatorname{tg}\varphi + c$ și $T = N \operatorname{tg}\theta$ sau $\tau_f = \operatorname{tg}\theta$, conform ipotezei de rupere considerate, rezultă după împărțire cu A (suprafața de alunecare) că:

$$\tau = \tau_f$$

adică:

$$\operatorname{tg}\theta = \left(\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\sigma}\right) \tag{4.4}$$

Dar cunoscînd definiția unghiului de tăiere ψ (fig. XVI.111) ea fiind:

$$\operatorname{tg}\psi = \left(\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\sigma}\right) \tag{4.5}$$

rezultă că: $\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\psi$ și $\theta = \psi$. Pentru masa de rocă de pe suprafața taluzului AB, factorul de stabilitate este:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}\theta} = \frac{\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\sigma}}{\operatorname{tg}\theta} \tag{4.6}$$

Admițînd ipoteza că la limită efortul normal se transmite hidrostatic, $\sigma = \gamma_a \cdot H$, atunci factorul de stabilitate devine:

$$F_s = \frac{\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\gamma_a H}}{\operatorname{tg}\theta} \tag{4.7}$$

iar panta taluzului în punctul considerat:

$$\operatorname{tg}\theta \quad \frac{dz}{dx} = \frac{1}{F_s}\left(\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\gamma_a \cdot h}\right) \tag{4.8}$$

expresie ce evidențiază factorii care condiționează stabilitatea taluzului și că valoarea unghiului de taluz este o variabilă în funcție de stabilitate și înălțimea taluzului h.

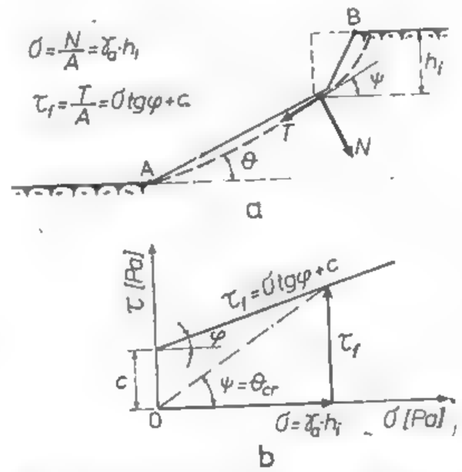


Fig. XVI.111. Taluz executat în roci slab coezive și cu coeziune mică.

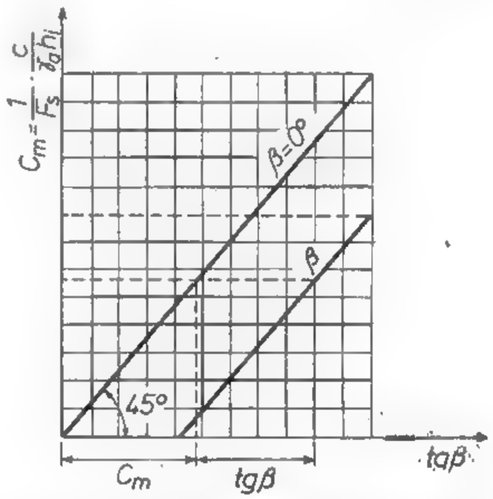


Fig. XVI.112. Abaca expresiei $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\varphi + C_m$

Dacă se notează cu C_s coeficientul de stabilitate ca fiind egal cu expresia adimensională (parametru fundamental care influențează stabilitatea taluzelor în roci coezive):

$C_s = \frac{c}{\gamma_a h}$ rezultă că: $\operatorname{tg}\theta = \frac{1}{F_s}(\operatorname{tg}\varphi + C_s)$ sau dacă: $\operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{F_s}$ și $C_m = \frac{C_s}{F_s}$ atunci: $\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\beta + C_m$, expresie care se pretează la reprezentarea grafică sub forma unei abace (fig. XVI.112) ce permite determinarea unuia din termeni, cunoscînd pe ceilalți doi. De exemplu, în cazul proiectării se cunosc: parametrii c și φ; greutatea specifică aparentă γ_a, înălțimea taluzului h, se alege un factor de stabilitate $F_s = 1{,}1$; $1{,}2$ și se determină panta necesară admisă θ a taluzului; în cazul verificării unui taluz existent se cunosc: θ; c; φ; γ_a și se determină factorul de stabilitate F_s. Din ecuația diferențială (4.8), prin integrare, se obține ecuația curbei taluzului stabil pentru cazul rocilor slab coezive și cu coeziune mică de tipul pămînturilor și a rocilor argiloase

$$x = \frac{F_s}{\operatorname{tg}\varphi}\left[h - \frac{c}{\gamma_a \operatorname{tg}\varphi} \ln\left(h + \frac{c}{\gamma_a \operatorname{tg}\varphi}\right)\right] \tag{4.9}$$

care la partea superioară a taluzului are alura unei linii drepte verticale, deci pentru: $h = 0$; $\frac{dh}{dx} = \infty$ și $\theta = 90°$. Practic această curbă se circumscrie unui contur poligonal format din o înlănțuire de drepte pe înălțimi limitate (v. fig. XVI.111) mai ales în cazul masivelor sedimentare — stratificate.

4.3.3. STABILITATEA TALUZELOR AFECTATE DE PREZENȚA PÎNZELOR ACVIFERE ÎN MASIVUL DE ROCĂ ÎN CARE SÎNT EXECUTATE

În cazul în care taluzul, executat într-un masiv de rocă clastică sau slab coezivă de tipul pămînturilor sau a rocilor argiloase, este străbătut de o pînză acviferă, aceasta va influența condițiile de stabilitate. Fie un astfel de taluz (fig. XVI.113) străbătut de linii de curent de apă subterană și care devin tangente la suprafața taluzului (adică $i = \sin\theta$), adică suprafața apei coincide cu suprafața taluzului AB. În acest caz eforturile pe planele paralele cu suprafața taluzului A vor fi:

$\sigma = \gamma_{a\,sat.} \cdot h \cos^2\theta$; $\tau = \gamma_{a\,sat.} \cdot h \sin^2\theta$; $u = \gamma_w \overline{AB} \cos\theta = \gamma_w h \cos^2\theta$ unde u este presiunea apei din porii rocii.

În cazul rocilor clastice, deci $c = 0$, condiția *Coulomb* sau rezistența la forfecare-tăiere devine $\tau_f = (\sigma - u)\,\mathrm{tg}\varphi$; deci $\tau_f = (\gamma_{a\,sat.} \cdot h \cos^2\theta - \gamma_w \cos^2\theta)\,\mathrm{tg}\varphi$, iar $\tau = \gamma_{a\,sat.} \cdot h \cdot \sin\theta \cos\theta$ și la limită $\tau = \tau_f$, adică:

$$\mathrm{tg}\,\theta_{critic} = \mathrm{tg}\,\theta_{max} = \frac{\gamma_{a\,sat.} - \gamma_w}{\gamma_{a\,sat.}}\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.10)$$

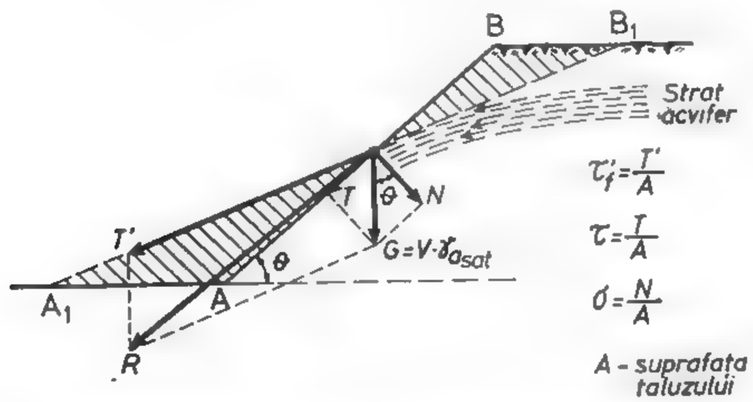


Fig. XVI.113. Taluz afectat de prezența pînzelor acvifere.

Deci prin prezența apei, panta taluzului stabil se reduce, de exemplu dacă = 45° și $\gamma_{a\,sat.} = 2{,}7 \cdot 10^4$ N/m³ atunci $\theta = 32{,}4°$. În cazul rocilor slab coezive sau cu coeziune mică ($c = 0$ și $\varphi \neq 0$) expresia unghiului de taluz va fi dedusă în mod asemănător sub forma:

$$\mathrm{tg}\,\theta_{critic} = \mathrm{tg}\theta_{max} = \frac{c}{h \cdot \gamma_a \cos^2\theta_{cr}} + \frac{\gamma_{a\,sat.} - \gamma_w}{\gamma_{a\,sat}}\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.11)$$

și:

$$\frac{c}{\gamma_a h} \cos^2\theta_{cr.}(\mathrm{tg}\theta_{critic} - \frac{\gamma_{a\,sat.} - \gamma_w}{\gamma_{a\,sat}}\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.12)$$

Condiția de echilibru devine: $T'' = T' + T$

unde: $T'' = \frac{N''\,\mathrm{tg}\psi}{F_s} = \frac{V \cdot \gamma_{a\,sat.}\,\mathrm{tg}\,\psi}{F_s} \cos\theta$; $T = V \cdot \gamma_{a\,sat.} \sin\theta$; $N = V \cdot \gamma_{a\,sat.} \cos\theta$;

$T' = V \cdot \gamma_w \cdot \sin\theta$,

în care: $\gamma_{a\,sat.}$ este greutatea specifică aparentă a rocii submersate sau saturate; V — volumul particulei de rocă considerate; i — panta hidraulică sau gradientul hidraulic. Deci:

$$\frac{V \cdot \gamma_{a\,sat}\,\mathrm{tg}\,\psi}{F_s} \cos\theta = V(\gamma_{a\,sat.} + \gamma_w) \sin\theta \qquad (4.13)$$

sau:

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a\,sat.}}{\gamma_{a\,sat.} + \gamma_w}\,\mathrm{tg}\,\psi = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a\,sat.}}{\gamma_{a\,sat.} + \gamma_{sat}}(\mathrm{tg}\,\varphi + C_s) \qquad (4.14)$$

iar dacă $\gamma_{a\,sat.} = \gamma_w = 10$ kN/m³ atunci:

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{1}{2F_s}(\mathrm{tg}\,\varphi + C_s) \qquad (4.15)$$

Pe lîngă efectul hidrodinamic care reduce panta taluzului stabil la jumătate, prezența apei conduce și la micșorarea efortului efectiv, modificînd expresia coeficientului de stabilitate C_s adică:

$$C_s = \frac{c}{\sigma'} = \frac{c}{\sigma - u} = \frac{c}{\gamma_a h - u} = \frac{c}{\gamma_a h(1 - f_u)} \qquad (4.16)$$

unde: f_u este factorul presiunii apei în pori (u) adică $u = f_u \gamma_a h$

4.3.4. METODE APROXIMATIVE

Metodele aproximative de analiză a stabilității taluzelor de roci slabe se bazează în principal pe observațiile asupra ruperii taluzelor. Astfel, toate observațiile efectuate asupra pierderii stabilității taluzelor executate în roci cu coeziune slabă și coeziune mică au arătat că ruperea se produce de obicei pe suprafețe curbe ce pot fi asimilate cu suprafețe cilindrice circulare. Ca urmare, stabilitatea taluzelor poate fi analizată și prin determinarea celei mai critice suprafețe de rupere într-o secțiune transversală

a taluzului. Grupa acestor metode își găsește aplicabilitate numai în cazul rocilor suficient de plastice, în cazul rocilor din grupa celor ductile la care de fapt efortul mediu de forfecare constituie factorul important ce condiționează ruperea.

Se consideră o asemenea suprafață de rupere (fig. XVI. 114, *a*). Momentul de rupere M_r este momentul greutății segmentului G față de centrul O adică $G \cdot x$. Momentul de stabilitate M_s este produsul dintre rezistența la forfecare τ_f a rocii, de-a lungul suprafeței de rupere, lungimea arcului L și raza cercului R considerat.

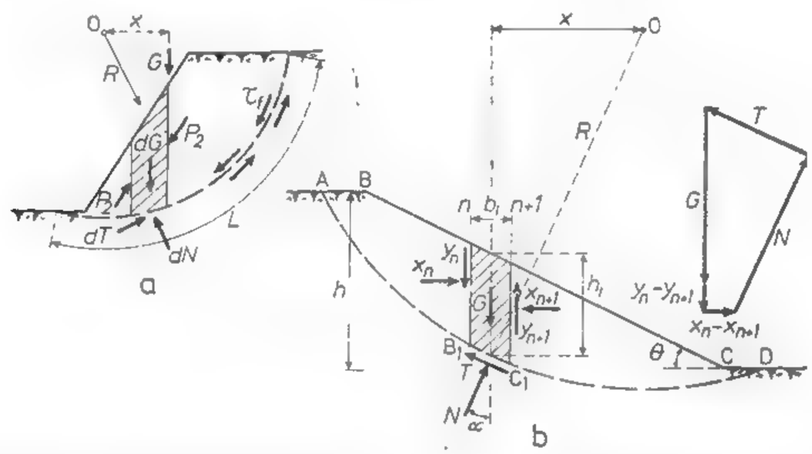


Fig. XVI.114. Principiul de calcul al stabilității taluzelor prin metoda aproximativă (procedeul fîșiilor).

În situația considerată, rezistența la forfecare τ_f variază în lungul arcului de cerc, datorită variației efortului unitar normal σ și, ca urmare, arcul de cerc se împarte într-o serie de fîșii verticale de lățimi limitate b_i și înălțimi medii h_i (fig. XVI.114, *b*). O asemenea fîșie este supusă acțiunii următoarelor forțe: 1) greutatea fîșiei $dG = \gamma_a h \cdot b = \gamma_a h' \cos\alpha$; 2) componenta normală a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dN sau, în cazul existenței și a unei pînze acvifere, forța efectivă intergranulară va fi $dN_1 = dN - U$, unde $U = u \cdot l$ sau $U = f_u \cdot \gamma_a h$; 3) componenta tangențială a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dT; 4) cele două forțe care acționează pe fețele laterale ale fîșiei considerate P_1 și respectiv P_2 (fig. XVI.114, *a*) și care sînt de fapt nedeterminate.

Cu referire la aceste forțe există o serie de ipoteze simplificatoare. Astfel K n e y le consideră egale și de sens opus, ceea ce simplifică poligonul forțelor (fig. XVI.114, *b*); B i s h o p presupune o echilibrare numai a componentelor verticale (fig. XVI.114, *b*); S p e n c e r consideră că forțele P_1 și P_2 au același suport dar mărimi diferite etc. Astăzi calcularea acestor forțe poate fi realizată prin intermediul calculatoarelor electronice. Literatura de specialitate oferă o serie de metode și metodologii atît clasice cît și bazate pe procedee numerice de calcul. Se precizează că neglijarea de la început a acestor forțe nu conduce decît la o eroare de cel mult 10%, fapt acceptabil din punct de vedere practic.

La echilibru: $M_r = M_s$ adică: $\Sigma dT \cdot R = \Sigma(dN \operatorname{tg}\varphi + c \cdot l)R$, iar coeficientului de siguranță va fi:

$$\eta = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\Sigma(dT)}{\Sigma(dN \operatorname{tg}\varphi + c \cdot l)} \tag{4.17}$$

și el se confundă cu F_s în ipoteza că F_s = constant pentru toate criteriile. Deci:

$$\eta = F_s = \frac{\tau}{\tau_f} \tag{4.18}$$

și poate fi exprimat în funcție de coeziune:

$$\eta = \frac{F_s c}{\gamma_a h} \tag{4.19}$$

Grupa acestor metode neglijează cea de a treia dimensiune, adică rezistența capetelor segmentului cilindric de rupere. Ca urmare a acestui fapt, indiferent de modul cum sînt determinați parametrii considerați în calcule (în situ sau laborator), rezultatele obținute sînt mai mari decît cele reale. Calea de laborator însă conduce la dimensionări prea acoperitoare. Din analiza acestui tip de metode rezultă că valoarea critică a unghiului de taluz sau maximă este funcție de următorii parametri adimensionali:

$$\theta_{critic} = \theta_{max} = F\left(\frac{c}{\gamma_a h};\ \frac{q}{\gamma_a h};\ \frac{dl_f \varphi}{h};\ \frac{dz_f}{h};\ \varphi\right) \tag{4.20}$$

(fig. XVI.115) unde dl_f este adîncimea pînzei acvifere; dz_f — adîncimea de fisurare față de berma taluzului; q — supraîncărcarea bermei taluzului ca sarcină uniform repartizată.

Deoarece de multe ori suprafața de rupere diferă sensibil de una circular cilindrică (cazul rocilor neomogene, a rocilor cu intercalații mai slabe produs al alterărilor etc.), s-au elaborat metode în care suprafața de lunecare are o formă oarecare — poligonală. Asemenea metode analizează din aproape în aproape, prin calcule laborioase,

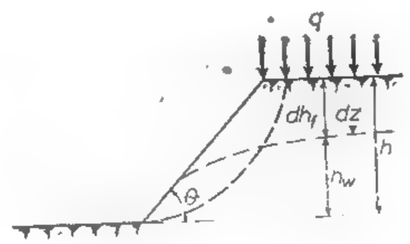


Fig. XVI.115. Valoarea critică a unghiului θ și factorii ce o influențează.

pînă la obținerea unui factor de stabilitate minim, căruia îi corespunde suprafața de alunecare critică. Cînd $F_s = 1$ suprafața corespunzătoare este cea reală sau de alunecare potențială. Metodele se pretează la utilizarea calculatoarelor. În ultimii ani se remarcă

tendința de a folosi la calculul stabilității taluzelor principiile variaționale. În acest context s-a plecat de la ideia de a stabili prin calcul forma suprafeței de rupere $y(x)$ pentru un profil dat al terenului; $f(x)$ rezultă din condiția că funcționalul reprezentat prin factorul de stabilitate F_s să fie minim, adică:

$$F_s = \frac{\Sigma \int F_i(x; y; y')\mathrm{d}x}{\Sigma \int G_i(x, y, y')\mathrm{d}x} \tag{4.21}$$

Asemenea metode au avantajul că elimină necesitatea de a verifica mai multe suprafețe potențiale de rupere.

4.4. MĂSURI DE PREVENIRE ȘI CONTROL ÎN CAZUL EXECUTĂRII TALUZELOR

Cu toate aspectele considerate în faza de proiectare, pentru asigurarea stabilității taluzelor se impun și în continuare, în faza de verificare a proiectului de execuție și de exploatare, să fie luate o serie de măsuri de prevenire și control a ruperii acestor lucrări. În general, pierderea stabilității și ruperea taluzelor este o consecință a creșterii stării secundare de tensiune și a reducerii rezistenței rocii. Prin urmare, se impune luarea de măsuri pentru evitarea acestor efecte.

Astfel, adoptarea cu strictețe a unghiurilor de taluz proiectate și urmărirea să nu se mărească în timp asemenea pante, mai ales cînd la baza taluzului se află o rocă mai slabă și care poate fi extrasă prin excavații necorespunzătoare, ducînd la subminarea taluzului.

Rezistența rocii se poate reduce sub efectul exploziilor folosite la excavare. Ca urmare, taluzul trebuie bine curățit (copturit), trebuie luate în considerare mărirea numărului de găuri de mină și reducerea cantității de exploziv pentru evitarea afînării rocii și a fisurării ei în adîncime, chiar dacă această operație poate costa mai mult.

Deteriorarea suprafeței taluzului se poate produce și prin fenomenul de îngheț-dezgheț, a acțiunii apei și aerului asupra rocii, a umflării produselor de alterare existente în fisuri. Printr-o drenare a apei de suprafață la creasta taluzului, asemenea fenomene se pot evita.

Concentrările de eforturi pot crește în urma depozitării materialului excavat pe creasta taluzelor. Depozitarea materialelor trebuie realizată pînă la o distanță, față de creasta taluzului, de circa 1/2 din înălțimea lui.

Drenarea apei subterane constituie un factor esențial în menținerea stabilității taluzelor, cu toate că o coborîre efectivă a nivelului apei subterane în masive de rocă este foarte dificilă, atît din punct de vedere tehnic, cît și economic.

5. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ ȘI PLANȘEELOR

5.1. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

5.1.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA CALCULULUI DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

În cazul unor zăcăminte de substanțe minerale utile (sare gemă, săruri de potasiu și magneziu, minereuri de fier, gips, cretă etc.) precum și la unele zăcăminte de roci utile (calcare, marne, caolin, argile etc.) s-a aplicat și continuă să se aplice, în mod curent, *metoda de exploatare cu camere și pilieri* (definitivi sau temporari).

Odată cu dezvoltarea și modernizarea tehnicii de forare a găurilor de mină, s-a trecut la extinderea metodei de exploatare cu camere și pilieri, și la extragerea altor tipuri de zăcăminte de minereu, fiind cunoscută ca o metodă de mare producție și productivitate. Această metodă a căpătat o largă extindere în cazul claselor de metode de exploatare:

— cu goluri remanente cu extragerea în subetaje sau pe toată înălțimea etajului;
— cu înmagazinarea minereului în spațiul exploatat;
— cu surparea rocilor înconjurătoare.

Susținerea spațiului exploatat cu pilieri de siguranță (temporari sau definitivi) reprezintă unul din procedeele de dirijare a presiunii miniere cele mai simple și mai vechi aplicate în minerit.

Privită din punct de vedere tehnic, această metodă de dirijare a presiunii poate fi aplicată atunci cînd minereul și rocile înconjurătoare au o tărie și o stabilitate mare. De asemenea, această metodă se mai poate aplica și atunci cînd nu se dorește provocarea unor deplasări și surpări ale rocilor din acoperișul zăcămîntului, care să afecteze terenul de la suprafață, oricare ar fi natura substanțelor minerale utile respective.

Pilierii de siguranță definitivi, cu rol de susținere a spațiului exploatat, în cadrul metodei de exploatare aplicată la extragerea, în general, a zăcămintelor de săruri și unele materiale de construcții au forme geometrice regulate și sînt, de asemenea, dispuși într-o rețea geometrică regulată.

În categoria pilierilor de siguranță definitivă mai intră și aceia necesari pentru protecția puțurilor de mină și a obiectivelor industrial-sociale și naturale de deasupra perimetrelor miniere în exploatare.

Pilierii de siguranță temporari întîlniți în cadrul metodelor de exploatare din clasele amintite, denumiți *pilieri de etaj*, se lasă deasupra, dedesubtul sau în jurul lucrărilor principale de pregătire, cu scopul de a susține atît lucrările de abataj, cît și de pregătire.

În cadrul pilierilor temporari se întîlnesc și *pilieri de bloc*, lăsați între camerele vecine și păstrați numai pe perioada exploatării etajului.

Pentru asigurarea stabilității camerelor și pentru micșorarea pierderilor mari de substanță minerală utilă, *pilierii definitivi* de susținere a camerelor trebuie să fie dimensionați. Pilierii de siguranță ai puțurilor de mină, sau ai obiectivelor de la supra-

față se trasează prin construcții geometrice, pe baza cunoașterii unghiurilor de scufundare.

Pentru stabilirea dimensiunilor optime ale pilierilor de siguranță definitivi de susținere a camerelor de exploatare se impune ca de la început să se cuncască următoarele elemente de calcul:

— felul, mărimea și repartizarea stărilor de tensiune din interiorul pilierilor de susținere

— caracteristicile fizico-mecanice ale pilierilor de susținere;

— felul și mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susținere din cauza eforturilor la care sînt supuși.

Din observațiile practice, experimentările *in-situ* și de laborator, se admite astăzi că asupra pilierilor de siguranță de susținere a camerelor de exploatare, acționează numai eforturi statice de compresiune datorite greutății lor proprii și greutății unei anumite părți din zăcămîntul exploatat și din rocile înconjurătoare. Sarcina dezvoltată de rocile ce apasă pe pilierul de siguranță este denumită *presiune litostatică* și se datorește forțelor de gravitație.

Presiunea litostatică dă naștere în interiorul pilierilor de siguranță, de susținere, la anumite stări de tensiune a căror mărime și distribuție este funcție de forma și dimensiunile lor, caracteristicile lor geologice și petrografice și caracteristicile fizico-mecanice ale materialului din care sînt constituți.

Se admite astăzi, în domeniul mecanicii rocilor, în care se consideră că masivul de roci se comportă ca un corp elastic, omogen și izotrop, că starea de tensiune primară se poate exprima într-un sistem de coordonate triaxiale rectangulare prin relațiile (3.1) și (3.2).

Odată cu începerea exploatării zăcămîntului considerat, cu crearea camerelor și formarea pilierilor de susținere, se modifică fundamental atît mărimea, sensul și distribuția tensiunilor care acționează asupra tavanului, vetrei și pereților camerelor cît și repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susținere.

Pilierii de siguranță, de susținere a camerelor, sînt constituiți din roci ce reprezintă corpuri neomogene, anizotrope cu caracteristici geologico-petrografice diferite.

Încercările de laborator efectuate de M. Stamatiu în stabilirea rezistențelor mecanice ale rocilor au confirmat faptul că valorile acestora depind de forma și mărimea epruvetei încercate.

Pilierii de susținere ai camerelor vor avea, de asemenea, valori ale caracteristicilor mecanice de rezistență dependente de forma și mărimea proiectată. Felul și mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susținere este rezultatul eforturilor de compresiune la care aceștia sînt supuși.

Mărimea deformărilor este funcție de modul de aproximare a comportamentului materialului constitutiv al pilierilor: elastic, elasto-plastic sau plastic. Existența în timp a pilierilor sub acțiunea solicitărilor la care sînt supuși impune, de asemenea, luarea în considerare, în stabilirea mărimilor deformărilor, a caracteristicilor reologice, în principal a fluajului rocilor din care sînt constituiți pilierii.

O clasificare a procedeelor de calcul și verificare trebuie să aibă la bază, felul, mărimea și repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susținere, în dependență cu caracteristicile mecanice. În funcție de acest criteriu, procedeele de calcul și de verificare elaborate pînă în prezent pot fi clasificate în patru grupe:

A. Procedee bazate pe ipoteza repartiției uniforme și a rezistenței constante la compresiune. În această grupă intră procedeele de calcul și verificare elaborate de *Tournaire, Haton de la Goupillère, L. D. Șeviakov.*

B. Procedee bazate pe ipoteza repartizării uniforme a tensiunilor în pilieri și a rezistenței la compresiune, variabile cu forma și dimensiunea pilierilor. Sînt cuprinse, în această grupă, procedeele de verificare și calcul propuse de *K. Kegel, M. Stamatiu.*

C. Procedee bazate pe ipoteza repartiției neuniforme a tensiunilor, în pilieri și a parabolei de presiune. Aceste procedee aparțin autorilor *M. M. Protodiakonov, S. S. Davidov, M. Stamatiu, P. M. Țimbarevici,, K. V. Ruppeneit.*

D. Procedee bazate pe modelarea matematică a stărilor de tensiune și deformare pe baza legilor de dependență date de mecanica corpurilor solid deformabile. În această grupă intră metodele de calcul propuse de *P. M. Țimbarevici, K. V. Ruppeneit,* care au la bază teoria elasticității, precum și metodele moderne actuale de modelare a tensiunilor și deformațiilor prin metoda elementelor finite.

Dintre procedeele de calcul amintite, se vor trata în continuare numai acelea care au o largă aplicabilitate și ale căror rezultate au fost confirmate de practica inginerească.

5.1.2. PROCEDEE DE CALCUL ȘI VERIFICARE A DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

Procedeul de calcul propus de M. Stamatiu. Face parte din grupa procedeelor de calcul bazate pe ipoteza repartiției neuniforme a tensiunilor în pilieri și a parabolei de presiune, cu aplicare la exploatarea sării pe cale solidă, cu camere mici.

Autorul, în elaborarea procedeului său de calcul, admite ipotezele lui *Ritter* și *Coulomb* referitoare la modul de repartizare a eforturilor datorite rocilor înconjurătoare asupra tavanului și pereților camerelor și anume (fig. XVI.116):

— o anumită parte din pilierul de susținere de lățime d_2 este supus unui efort de compresiune, egal cu greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața terenului;

— părțile din pilier, situate în apropierea pereților camerelor, sînt supuse la eforturile datorite greutății corpurilor parabolice care se formează deasupra tavanului camerelor și care tind să producă ruperea prin alunecare a pilierului după suprafețele AE, respectiv $A'E'$ înclinate cu un unghi φ față de orizontală.

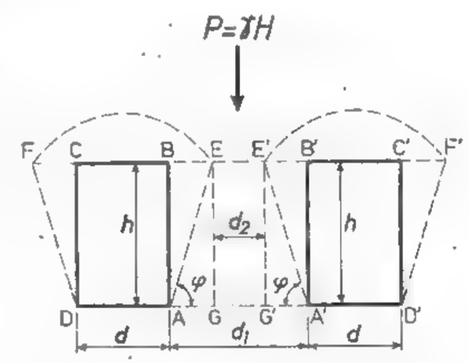


Fig. XVI.116. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după M. Stamatiu).

Pe baza celor arătate, lățimea pilierului de susținere se poate calcula cu relația:

$$d_1 = d_2 + 2h \operatorname{ctg} \varphi \qquad (5.1)$$

în care: d_1 este lățimea stîlpului, m; h — înălțimea camerei, m.

În urma încercărilor de laborator, autorul a stabilit relația de dependență a rezistenței de rupere la compresiune, funcție de dimensiunile epruvetei încercate, de forma:

$$R_c' = R_c \sqrt{\frac{l}{h}} \qquad (5.2)$$

în care: R'_c este rezistența de rupere la compresiune a prismei cu secțiune pătrată, daN/cm²;

R — rezistența de rupere la compresiune a epruvetelor în formă de cub, confecționate din același material ca și prismele, daN/cm²;

l = lățimea epruvetei, cm;

h — înălțimea epruvetei, cm.

Pilierului de susținere $GEE'G$, de forma unei prisme cu lățimea d_2 și înălțimea h, i se poate aplica relația (5.2).

În acest caz, condiția de rezistență este:

$$Pd_2^2 = R'd_2^2 = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}}\, d_2^2 \text{ sau } P = \gamma_a H \leqslant R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \tag{5.3}$$

La limită se va obține:

$$\gamma_a H = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \text{ sau } d_2 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} \tag{5.4}$$

Înlocuind relația (5.4) în relația (3.2) se obține:

$$d_1 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} + 2h \operatorname{ctg}\varphi = \left(\frac{\gamma_a^2}{R_c^2} H^2 + 2 \operatorname{ctg}\varphi\right) h \tag{5.5}$$

unde: γ_a este greutatea volumetrică medie a coloanei de roci de la pilierul de susținere pînă la suprafața terenului, N/cm³; H — adîncimea de exploatare, m; φ — unghiul de frecare interioară a rocilor.

Procedeul de calcul al lui L. D. Șeviakov. Face parte din grupa procedeelor de calcul avînd la bază ipoteza repartiției uniforme a tensiunilor în pilierii de susținere și a rezistenței constante la compresiune.

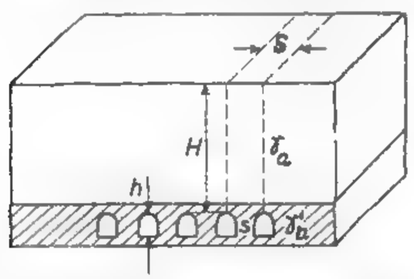


Fig. XVI.117. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după L. D. Șeviakov).

Se consideră că sarcina asupra pilierului de susținere este dată de greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața de la zi, iar repartizarea acestei sarcini în secțiune orizontală a pilierului este constantă.

Condiția de stabilitate a pilierului, conform schemei de calcul adoptată, este dată de relația (fig. XVI.117):

$$S \cdot H\gamma_a + s \cdot h\gamma'_a = s\frac{\sigma_c}{n} \tag{5.6}$$

în care: H este adîncimea de la suprafață pînă la partea superioară a pilierului de susținere, m;

h — înălțimea pilierului de susținere, m;

S — suprafața secțiunii orizontale a prismei de roci acoperitoare ce revine unui pilier de susținere, m²;

s — suprafața secțiunii orizontale a pilierului, în m²;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

γ'_a — greutatea volumetrică a materialului pilierului, MN/m³;

n — coeficient de siguranță, cu valori între 1,5—3;

σ_c — rezistența medie de rupere la compresiune a rocii din pilier, MN/m².

Din relația (5.6) se poate deduce:

$$\frac{S}{s} = \frac{\sigma_c}{nH\gamma_a} - \frac{\gamma'_a h}{\gamma_a H} \tag{5.7}$$

În funcție de dimensiunile camerelor de exploatare proiectate, prin exprimarea geometrică a raportului S/s și înlocuirea în relația (5.7) se obțin relațiile de calcul pentru diferite forme de pilieri de susținere.

— Pilieri lungi continui (fig. XVI.118):

$$\frac{S}{s} = \frac{A + x}{x}$$

$$x = \frac{A}{\dfrac{\sigma_c}{nH\gamma_a} - \dfrac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - 1} \tag{5.8}$$

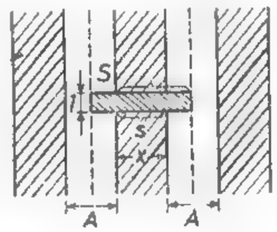


Fig. XVI. 118. Pilieri lungi continui.

— pilieri scurți cu secțiune pătrată (fig. XVI.119):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)^2}{x^2}$$

$$x = \frac{A}{\sqrt{\dfrac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \dfrac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - 1}} \tag{5.9}$$

— Pilieri scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime constantă (fig. XVI.120):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(A + L)}{x \cdot L}$$

$$x = \frac{\dfrac{A^2}{L} + A}{\dfrac{\sigma_c}{n \cdot H\gamma_a} - \dfrac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - \dfrac{A}{L} - 1} \tag{5.10}$$

— Pilieri scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime diferită (fig. XVI.121):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(B + L)}{x \cdot L}$$

$$x = \frac{A - \dfrac{AB}{L}}{\dfrac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \dfrac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - \dfrac{B}{L} - 1} \qquad (5.11)$$

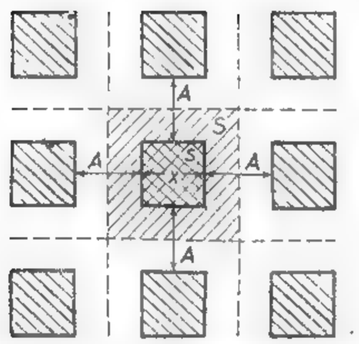


Fig. XVI.119. Pilieri scurți cu secțiune pătrată.

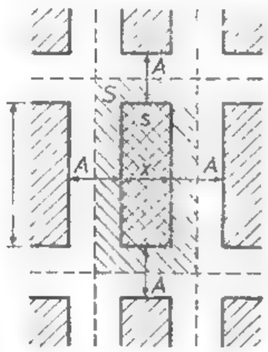


Fig. XVI.120. Pilieri dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime constantă.

unde: A, B sînt dimensiunile camerelor de exploatare, m; L este lungimea camerelor de exploatare, m; x — lățimea pilierilor de susținere, m.

Relațiile stabilite mai sus de autor sînt de dimensionare, însă practic s-a demonstrat că pentru a obține rezultate corecte, se impune ca valorile σ_c și n să fie judicios alese și să rezulte din încercări de laborator și observații practice.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Relația propusă de autor pentru verificarea dimensiunilor pilierilor de susținere are la bază ipoteza cercetătorului francez *Tournaire*. Se consideră, că rezistența de rupere la compresiune a pilierilor să fie mai mare, sau cel puțin egală cu sarcina de compresiune la care aceștia sînt supuși, sarcină datorită greutății terenului acoperitor și a substanței minerale utile din planșeul de protecție superior, cum și a greutății lor proprii (fig. XVI.122).

Din principiul de calcul enunțat mai sus, autorul a stabilit relația:

$$S\gamma_a(H - e) + S\gamma_{a1}e + s\gamma_{a1}h \leqslant s\sigma_c \qquad (5.12)$$

în care: s este suprafața totală în secțiune orizontală a tuturor stîlpilor, egală cu: $s = m \cdot s_1$ [m²];

S — suprafața cîmpului de exploatare, m²;

s_1 — suprafața în secțiune orizontală a unui pilier, m²;

m — numărul pilierilor de aceeași formă;

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul camerelor, m;

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

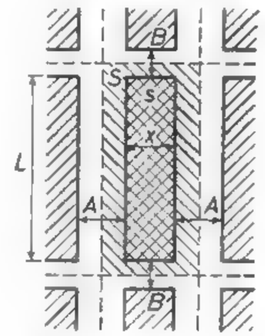


Fig. XVI.121. Pilieri dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime diferită.

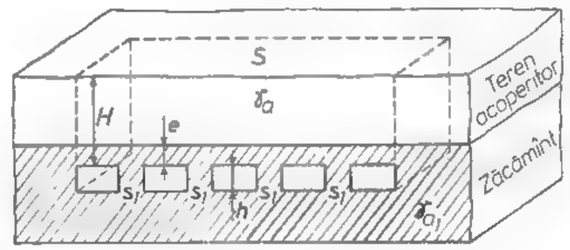


Fig. XVI.122. Schemă de calcul a pilierilor de susținere, după procedeul de verificare a lui M. Stamatiu.

γ_{a1} — greutatea volumetrică a rocii din pilier, MN/m³;

e — grosimea medie de protecție de deasupra camerelor de exploatare, m;

h — înălțimea pilierilor de susținere, m;

σ_c — rezistența medie efectivă de rupere la compresiune a rocii din pilieri, MN/m²;

n — coeficient de siguranță cu valorile 1,5—3 recomandate de autor;

Din relația (5.12) se deduce:

$$\frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\sigma_c - \gamma_{a1}h} \text{ sau } \frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\dfrac{\sigma_c}{n} - \gamma_{a1}h} \qquad (5.13)$$

La pilierii de susținere de formă cubică sau prismatică, pentru determinarea valorii lui σ_c, autorul recomandă, pe baza a numeroase încercări de laborator, folosirea relațiilor:

— pentru cuburi:

$$\sigma_c = \sigma'_c + k\sqrt{l} \qquad (5.14)$$

— pentru prisme cu secțiune pătratică:

$$\sigma_c = (\sigma'_c + k)\sqrt{\frac{l}{h}} \qquad (5.15)$$

în care: σ_c' este rezistența de rupere la compresiune a unui cub cu latura infinit mai mică, determinată prin încercări monoaxiale, daN/cm²;

k — constantă a materialului, cu valori între 43—50, pentru diferite tipuri de sare gemă;

l — lungimea muchiei cubului sau lățimea prismei pătrate, cm;

h — înălțimea prismei cu secțiune pătrată, cm.

Pentru exactitatea calculelor, folosind relațiile (5.14, 5.15) se impune ca raportul $h/l < 15$.

Dacă în urma calculelor efectuate cu relația (5.13) rezultă că $s/S = 1$, adică $s = S$, respectiv suprafața orizontală a tuturor pilierilor de susținere este egală cu suprafața cîmpului de exploatare, teoretic zăcămîntul respectiv nu mai poate fi exploatat prin metode subterane obișnuite.

Din relația (5.13) se poate deduce, în acest caz, adîncimea maximă H_m pînă la care se pot efectua — teoretic, sau practic — exploatări cu camere și pilieri într-un zăcămînt dat:

$$H_m \ (teoretic) = \frac{\sigma_c + \gamma_a e - \gamma_{a1}(h + e)}{\gamma_a} \qquad (5.16)$$

$$H_m \ (practic) = \frac{\frac{\sigma_c}{n} + \gamma_a e - \gamma_{a1}(h + e)}{\gamma_a} \qquad (5.17)$$

În paragrafele de mai sus, au fost expuse două procedee de calcul a dimensiunilor pilierilor de susținere și un procedeu de verificare. Avîndu-se în vedere atît experiența practică a exploatării zăcămintelor de sare gemă din țara noastră, cît și rezultatele calculelor confirmate de practică și efectuate de *M. Stamatiu* în lucrarea „Problema dimensionării stîlpilor la minele din R.S.România" — metodologiile expuse pot fi folosite în continuare în proiectarea exploatării zăcămintelor de sare în stare solidă.

De asemenea, aceste metode pot fi folosite și la stabilirea dimensiunilor pilierilor dintre camere și de panou sau de bloc.

5.1.3. CALCULUL DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SUSȚINERE LA EXPLOATAREA SĂRII PRIN DIZOLVARE CINETICĂ

În exploatarea sării geme s-au extins pe scară largă metodele de exploatare prin dizolvare cinetică. În funcție de procesul tehnologic aplicat, exploatarea prin dizolvare a sării are loc în excavații de formă cilindrică cu tavanul plan, boltit sau boltă retezată, separate între ele prin pilieri de susținere, care, în plan orizontal, au forme în funcție de modul de așezare în rețea geometrică. a cilindrilor de dizolvare. Pe scară largă se practică așezarea cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară (fig. XVI.123).

Dimensiunile pilierilor de susținere depind de diametrul cilindrilor de dizolvare și de distanța dintre axele lor verticale. Pentru calculul dimensiunilor acestor stîlpi nu se mai pot aplica relațiile și formulele stabilite de autori pentru metoda de exploatare cu camere și pilieri de susținere, deoarece aceste relații și formule se referă la pilieri de formă prismatică cu secțiune orizontală pătrată sau dreptunghiulară. În prezent, există, în această privință, numai posibilitatea de verificare la eforturi la compresiune a pilierilor de susținere cu dimensiuni prealabil alese.

În practica exploatării prin dizolvare a zăcămintelor de sare din țara noastră, la rezultate bune a condus procedeul de verificare propus de M. Stamatiu.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Pentru stabilirea relației de verificare s-a impus condiția ca sarea din pilierii de susținere să nu se rupă sub acțiunea greutății planșeului de protecție de sare, a terenurilor acoperitoare (de deasupra acestuia), a greutății lor proprii și a contra-presiunii exercitate de saramura saturată aflată în cilindrii de dizolvare (fig. XVI.124).

Relația stabilită este de forma:

$$S \cdot H \cdot \gamma_a + s \cdot e(\gamma_{a1} - \gamma_a) + s \cdot h\gamma_a - (S - s)\gamma_{as}H \leqslant \frac{\sigma_c}{n} s \qquad (5.18)$$

unde: S este suprafața cîmpului de exploatare, m²;

s — suprafața totală a stîlpilor de susținere, m²;

N — numărul cilindrilor de dizolvare în cîmpul de exploatare;

$S_c = S - s$ este suprafața totală a cilindrilor de dizolvare, m²;

$s_1 = \frac{S - s}{N} = \frac{S_c}{n}$ — suprafața în plan orizontal a unui cilindru de dizolvare, m²;

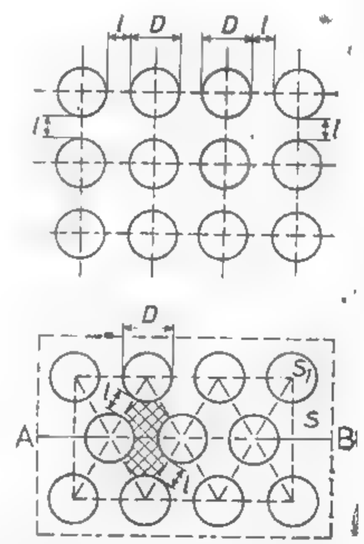


Fig. XVI.123. Distribuția cilindrilor de dizolcare în rețea pătratică sau triunghiulară.

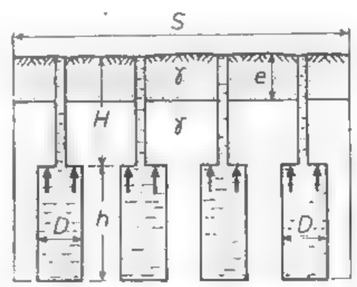


Fig. XVI.124. Procedeu de calcul și verificare a pilierilor dintre cilindrii de dizolvare, după M. Stamatiu.

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul cilindrilor de dizolvare a unui etaj oarecare, m;

e — grosimea terenurilor ce acoperă zăcămîntul de sare, m;

h — înălțimea cilindrilor de dizolvare egală cu a pilierilor de susținere, m;
γ_a — greutatea volumetrică a sării geme, MN/m ;
γ_{a1} — greutatea volumetrică medie a terenurilor acoperitoare, MN/m³;
γ_{as} — greutatea volumetrică a saramurii saturate, MN/m³;
σ_c — rezistența de rupere la compresiune a sării din pilierul de susținere, MN/m²;
n — coeficient de siguranță, se stabilește pe bază de experiență practică: $n = 15$ — dacă cilindrii de dizolvare nu sînt plini de saramură, $n < 5$ — dacă sînt plini cu saramură.

În cazul cînd $e = 0$ sau $\gamma_a = \gamma_{a1}$, ceea ce corespunde în cele mai multe cazuri condițiilor practice, relația (5.18) devine:

$$S \cdot H\gamma_a + s \cdot h\gamma_a - (S - s)\gamma_{as} H \leqslant \frac{\sigma_c}{n} s \tag{5.19}$$

de unde rezultă:

$$\frac{s}{S} = \frac{(\gamma_a - \gamma_{as}) H}{\frac{\sigma_c}{n} - h\gamma_a - H\gamma_{as}} \tag{5.20}$$

Pentru calculul valorii lui σ_c, autorul recomandă folosirea relației (5.15), înțelegînd prin l distanța minimă dintre doi cilindri de dizolvare.

5.2. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA CAMERELOR DE EXPLOATARE ȘI GROSIMII PLANȘEELOR DINTRE ETAJE

5.2.1. DESCHIDEREA CAMERELOR LA TAVAN

Procedeul lui Ritter. Conform ipotezei lui *Ritter*, presiunea care apasă asupra unei lucrări miniere orizontale este dată de relația:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{\gamma_a d^2}{48\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \right) \tag{5.21}$$

în care: γ_a este greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul lucrării, MN/m³;
d — deschiderea (lățimea) la tavan a lucrării subterane, m;
σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii din tavan, MN/m².

Notînd: $\frac{\sigma_t}{\gamma_a} = u$ și înlocuind în relația de mai sus rezultă:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \tag{5.22}$$

Deschiderea maximă la tavan a unei camere de exploatare rezultă din condiția:

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) = 0 \tag{5.23}$$

Din relația (5.23) rezultă, pentru d, trei valori

$$d_1 = 0 \text{ și } d_{23} = \pm u\sqrt{48} = \pm 4u\sqrt{3} = \pm 7u \tag{5.24}$$

Dintre aceste două rădăcini admisibilă este numai una: $d = +u\sqrt{48}$. Pentru valori ale lui $0 < d < u\sqrt{48}$ tavanul lucrării miniere nu trebuie susținut, deoarece presiunea asupra tavanului este egală cu zero.

În practică, în funcție de configurația zăcămîntului, se proiectează exploatarea unor camere cu o deschidere la tavan mai mare ca cea maximă: $d > u\sqrt{48}$; atunci se impune boltirea tavanului. Înălțimea de boltire se determină din condiția limită, impunînd ca greutatea corpului parabolic, redus ca greutate prin boltirea tavanului, să fie egală cu forțele de coeziune după bolta de echilibru.

În acest caz, greutatea corpului parabolic cuprins între tavanul boltit și cel plan este:

$$P' = \frac{2}{3} \gamma_a d \cdot b \tag{5.25}$$

unde b este înălțimea de boltire a tavanului.

Condiția de echilibru a tavanului boltit va fi:

$$P - P' = 0 \tag{5.26}$$

Înlocuind în expresia (5.26) relațiile (5.23 și 5.25) se duce:

$$b = \frac{3}{2} \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \tag{5.27}$$

Procedeul de calcul al lui Protodiakonov. Presiunea litostatică exercitată asupra tavanului unei lucrări subterane orizontale executată în roci omogene, conform teoriei bolții echilibrului natural, după autor se exprimă cu relația:

$$P = \frac{4}{3} \cdot \gamma_a \frac{a^2}{f} \tag{5.28}$$

în care: a este semideschiderea la tavan a lucrării, m;
f — coeficientul de tăiere al rocii din tavan după Protodiakonov;
γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavan, MN/m²;
Bolta echilibrului natural — după acest autor — este o boltă parabolică.

Lungimea arcului de parabolă ce delimitează bolta de echilibru, pentru o lungime egală cu 1 m a lucrării subterane și în cazul cînd raportul h/a este foarte mic, se

poate exprima cu aproximație prin relația:

$$2s = 2a\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{1}{f}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{f}\right)^4\right] \tag{5.29}$$

în care: s este lungimea arcului de parabolă;
h — înălțimea bolții parabolice.

Considerîndu-se după autor $\frac{h}{a} = \frac{1}{f}$ și punînd condiția — la limită — ca greutatea corpului parabolic să fie egală cu rezistența la tracțiune a acestui corp după bolta parabolică, se obține:

$$\frac{4}{3}\gamma_a \frac{a^2}{f} = 2a\sigma_t\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{1}{f}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{f}\right)^4\right]$$

sau

$$2a = 3f\frac{\sigma_t}{\gamma_a}\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{1}{f}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{f}\right)^4\right] \tag{5.30}$$

Considerînd pentru sare $f = 3$, din (5.30) rezultă:

$$2a \cong 9{,}5\,\frac{\sigma_t}{\gamma_a} \tag{5.31}$$

După teoria lui *Ritter*, $d = 2a = u\sqrt{48} \cong 7\,\frac{\sigma_t}{\gamma_a}$ (5.32)

Se poate trage concluzia că cele două procedee de calcul dau rezultate apropiate.

5.2.2. CALCULUL LUNGIMII UNEI CAMERE

Literatura de specialitate recomandă relația lui *H. Borger*, în care se pune condiția ca tavanul unei camere de exploatare la un zăcămînt de sare să nu se surpe sub greutatea sării de deasupra lui.

Conform ipotezei enunțate la limită, relația este:

$$2H \cdot \sigma_f(d + l) = \gamma_a H \cdot d \cdot l \tag{5.33}$$

în care: d reprezintă lățimea camerei la tavan;
l — lungimea camerei de exploatare;
σ_f — rezistența de rupere la forfecare a sării;
γ_a — greutatea volumetrică medie a sării.

În relația (5.33) expresia $\gamma_a H \cdot d \cdot l$ — reprezintă greutatea sării de deasupra camerei, iar expresia $2H\sigma_f(d + l)$ condiția de rezistență la forfecare a pereților camerei.

Din relația (5.33) se poate determina lungimea unei camere:

$$l = \frac{d}{\frac{d \cdot \gamma_a}{2\sigma_f} - 1} \tag{5.34}$$

5.2.3. CALCULUL ÎNĂLȚIMII UNEI CAMERE

Pentru calculul înălțimii unei camere de exploatare, literatura de specialitate indică mai multe metodologii, în funcție de forma acesteia și de ipoteza de manifestare a presiunii adoptată.

Extinderea metodelor de exploatare a sării geme pe cale uscată cu camere mici pătrate sau dreptunghiulare face posibilă folosirea relației lui *Ritter*, stabilită pe baza bolții de echilibru.

Relația stabilită de autor este de forma:

$$\frac{1}{2}\gamma_a \cdot d\left(\frac{d^2}{48u} - u\right) \leqslant \sigma_f \cdot h \tag{5.35}$$

unde: d reprezintă deschiderea la tavan a camerei, m;
σ_f — rezistența de rupere la forfecare a rocii din tavanul camerei, MN/m²;
h — înălțimea camerei, m;
γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul camerei, MN/m²;

$u = \frac{\sigma_t}{\gamma_a}$;

σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii respective, MN/m².

Din relația (5.35) se poate determina înălțimea camerelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară în plan orizontal.

5.2.4. CALCULUL DIMENSIUNILOR PLANȘEULUI DINTRE CAMERE

Dezvoltarea exploatării pe verticală, în cazul extragerii zăcămintelor de grosime mare și foarte mare, implică lăsarea între etaje a planșeelor de siguranță, cu rolul de a mări siguranța în exploatare și crește stabilitatea pilierilor de susținere. Exploatarea etajelor decurge aproape în exclusivitate. În acest caz, singurele forțe care acționează asupra unui planșeu sînt greutatea sa proprie și greutatea relativ redusă a instalațiilor subterane (căi ferate, trolii, locomotive etc.).

Constructiv, planșeul dintre două camere se poate considera ca o placă groasă încastrată în pereții acestora. Pentru stabilirea dimensiunilor planșeelor dintre etaje, literatura de specialitate recomandă procedee de calcul și de verificare.

Calculul grosimii planşeului. Pentru aceasta se aplică ecuaţia fundamentală a grinzii drepte cu secţiune constantă, încastrată la extremităţi, bazată pe ipotezele lui *Bernoulli* şi *Navier*.

Calculul grosimii planşeului rezultă din ecuaţia fundamentală, pentru cazul încovoierii, secţiunile periculoase fiind la punctele de încastrare:

$$M = \sigma_t \cdot W \tag{5.36}$$

unde: M este momentul încovoietor maxim;

W — modulul de inerţie al secţiunii periculoase;

σ_t — rezistenţa de rupere la încovoiere a rocii din planşeu.

Pentru un planşeu cu lungimea egală cu unitatea:

$$M = \frac{1}{12}\gamma_a \cdot a \cdot D^2, \text{ iar } W = \frac{1}{6}a^2 \tag{5.37}$$

în care: γ_a — este greutatea volumetrică a rocii din planşeu;

a — grosimea planşeului;

D — lăţimea planşeului egală cu deschiderea camerei.

Înlocuind valorile lui M şi W în relaţia (5.36) se obţine:

$$\frac{1}{2}\gamma_a \cdot a \cdot D^2 = \frac{1}{6}\sigma_t a^2$$

Din relaţia de mai sus, rezultă:

$$a = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_a}{\sigma_t} D^2 \tag{5.38}$$

Verificarea grosimii planşeului. Verificarea grosimii unui planşeu cu dimensiuni date se face prin aplicarea relaţiilor pentru plăci dreptunghiulare încastrate, încărcate uniform cu sarcina p datorită greutăţii proprii, pentru un raport al lungimii şi lăţimii $\frac{a}{b} = 1{,}5$ respectiv $\frac{a}{b} = \infty$ şi pentru $\mu = 0{,}3$.

Relaţiile de verificare se dau în tabelul XVI.35.

Semnificaţiile notaţiilor din tabel sînt:

σ_x — tensiunea după una din laturile plăcii, daN/cm²;

σ_y — tensiunea după latura a doua a plăcii, daN/cm²

p — greutatea proprie a unui metru pătrat de placă, daN/cm²;

a — lungimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

b — lăţimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

μ — coeficientul lui Poisson.

$$N = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\mu^2)} \quad [\text{daN cm}]$$

Tabelul XVI.35

Planşeu încastrat, fără suprasarcină

Raportul laturilor $\frac{a}{b}$	Săgeata f	Tensiunile în mijlocul plăcii		Tensiunea σ'_y în mijlocul laturii lungi
		σ_x	σ_y	
1,5	$0{,}0352\frac{pb^4}{N}$	$-0{,}48\,p\frac{b^2}{h^2}$	$-0{,}87\,p\frac{b^2}{h^2}$	$1{,}81\,p\frac{b^2}{h^2}$
∞	$0{,}0417\,p\frac{b^4}{N}$	$-0{,}30\,p\frac{b^2}{h^2}$	$-1{,}00\,p\frac{b^2}{h^2}$	$2{,}00\,p\frac{b^2}{h^2}$

Rezultatele calculelor tensiunilor cu relaţiile din tabelul XVI.35 se vor compara cu rezultatele de rupere la eforturile respective a rocii din planşeu.

6. FENOMENELE DE MANIFESTARE DINAMICĂ A PRESIUNII MINIERE

În afara formelor de manifestare statică a regimului de presiune minieră (fig. XVI.125), în masivul de roci apar fenomene de distrugere dinamică, bruşte, a unor zone de rocă sau zăcămînt, solicitate de o stare de tensiune caracterizată de valori mari ale componentelor active. Asemenea fenomene, însă de amploare dezastroasă şi raportate la scară mare în scoarţa terestră, cu efecte la suprafaţă şi în subteran sînt cunoscute în ingineria seismică sub denumirea de *cutremure*. La scara intermediară a unei exploatări miniere, a unei lucrări sau a unui abataj acestea pot fi: exploziile de rocă şi substanţă minerală utilă sau şocurile miniere, erupţiile de rocă sau cărbune şi gaze, viiturile de apă, gaze şi nisipuri acvifere.

6.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ ŞI SUBSTANŢĂ MINERALĂ UTILĂ SAU ŞOCURILE MINIERE

Sînt fenomene dinamice produse la zi sau în subteran, caracterizate prin fracturarea violentă a rocilor şi deplasarea unor cantităţi mari de rocă sub formă de fragmente, de plăci sau blocuri desprinse din pereţi, culcuş sau acoperiş (din taluzurile

de la zi) însoțite de un suflu sau undă de aer care străbate lucrările miniere, de zgomote clare audibile și de oscilații seismice ce se propagă în masivul înconjurător. Toate aceste manifestări au drept rezultat distrugerea rețelei de lucrări, a frontului de lucru, a susținerilor existente, a utilajelor etc.

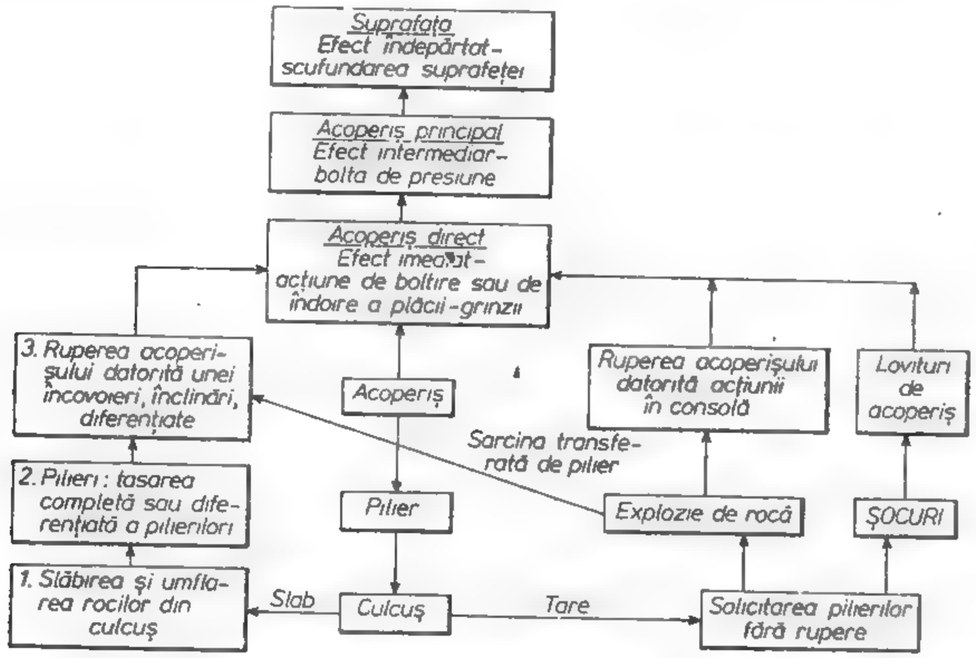


Fig. XVI.125. Comportamentul rocilor din jurul unei excavații miniere.

Cunoașterea cauzelor, a condițiilor și mecanismului de producerea acestor fenomene și elaborarea metodologiilor eficiente de prognoză, combatere-localizare a lor sînt probleme importante a căror actualitate sporește în mod continuu, fiind legată de creșterea adîncimii la care se desfășoară activitatea minieră.

Exploziile de rocă se manifestă sub diferite forme, în condiții diferite, la diferite etape de dezvoltare a excavațiilor miniere. Ele se produc atît în rocile înconjurătoare cît și în cazul zăcămintelor de substanță minerală utilă. Manifestarea unui astfel de fenomen este cunoscută sub o varietate de forme ca: exfolieri, dalări de fragmente de rocă puțin zgomotoase sau fragmentări de rocă de diferite intensități, prin producerea și deplasarea unor cantități de rocă de la cîțiva m³ pînă la sute și chiar mii de metri cubi, atît sub formă de praf și fragmente mărunte cît și sub formă de bucăți mari sau chiar blocuri întregi de rocă.

În literatura de specialitate sînt semnalate frecvent asemenea fenomene, iar observațiile făcute în mineritul din țara noastră ne confirmă prezența acestora într-o serie de bazine ca Baia Mare, Valea Jiului, Cîmpulung-Muscel, la exploatarea zăcămintelor de minereu, sare, cărbune.

Din punct de vedere topologic, asemenea fenomene pot apărea în masa de rocă în zăcămintele de cărbuni, manifestîndu-se în lucrări miniere (orizontale, verticale) singulare, în lucrări miniere multiple în abataje, în pilieri. Astăzi se poate accepta următoarea clasificare a fenomenelor de tipul *exploziilor de rocă* (tabelul XVI.36.)

Tabelul XVI.36

Clasificarea „exploziilor de rocă"

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenomenului
Fizic	Explozii prin dalare sau explozii de tipul I	Apar ca rezultat al eliberării bruște a energiei înmagazinate. Ca manifestare sînt asemănătoare cu ruperea sau fragmentarea epruvetelor de rocă casantă supuse la compresiune monoaxială. Se întîlnesc în general în cazul pilierilor de substanță minerală utilă, rocă și în cazul lucrărilor miniere singulare.
	Explozii prin șoc sau explozii de tipul II	Apar ca rezultat al unei solicitări aplicate instantaneu. O asemenea situație devine posibilă în cazul cînd zăcămîntul este cantonat în roci tari și foarte tari, care în urma avansării frontului se surpă la distanțe mari, creînd unde seismice (de presiune) ce solicită instantaneu roca din jurul spațiului exploatat. Se manifestă în general la abataje.
	Explozii prin efracție, respectiv spargere sau explozii de tipul III	O cauză a unor asemenea manifestări este prezența unor intercalații de rocă plastică (argile) în acoperișul sau culcușul de rocă tare sau foarte tare. În asemenea condiții intercalația de rocă rigidă comprimată zvîcnește spărgînd porțiunea de rocă sub formă de explozie de rocă.
Energetic sau cantitatea de energie	Microexplozii sau împușcarea rocilor	Sînt fracturări mărunte ale rocilor de pe suprafața lucrărilor miniere, desprinderea de bucăți de rocă din front, culcuș sau pereții abatajelor. Asemenea fenomene sînt însoțite de efecte sonore — audibile asemenea unor împușcături. Se pot produce și în profunzimea masivului, asemănător unui seism fără o exteriorizare, prin fracturare dar cu o dislocare a masivului undeva în interiorul lui. Cantitativ clasa acestor fenomene este caracterizată de o energie seismică de pînă la 10 jouli, cu un grad de seismicitate în epicentrul sub 1.

Tabelul XVI.36 (continuare)

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenemenului
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii slabe	Sînt dislocări locale caracterizate de o cantitate neînsemnată de rocă fracturată și azvîrlită în excavație dar fără distrugeri esențiale ale susținerii și utilajelor minicre. Energia seismică este de $10-10^2$ jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este de 1—2.
	Explozii medii	Sînt fracturări rapide însoțite de cantități considerabile de rocă sau substanță minerală utilă dislocate și care inundă spațiile exploatate, de formarea undelor de presiune ale aerului și de zgomote. Au drept efect distrugerea susținerilor, surparea lucrărilor pe lungimi de cîțiva metri. Energia seismică este de 10^2-10^4 jouli, gradul de seismicitate în epicentru fiind de 2—3,5.
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii puternice	Au același aspect ca și exploziile medii, dar efectele sînt mult amplificate, extinzîndu-se pe zeci de metri de lucrare. Energia seismică este de 10^4-10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru de 3,5—5.
	Explozii catastrofale	În cazul acestor manifestări apar efecte de distrugere completă a unor orizonturi întregi ale minei. Suprafața afectată atinge cîteodată mai multe sute de mii de metri pătrați. Energia seismică este mai mare de 10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este > 5.

Aceste fenomene sînt rezultatul acțiunii următorilor factori: natura litologică; proprietățile fizice, mecanice, elastice și reologice ale zăcămîntului și rocilor înconjurătoare; starea de tensiune creată; caracteristicile geometrice ale zăcămîntului; adîncimea de exploatare, metoda de exploatare etc.

Referitor la natura și proprietățile rocilor se poate preciza că cele mai favorabile sînt rocile de tip casant caracterizate ca roci tari, rezistente, cu un domeniu și caracter pronunțat elastic cum ar fi: bazaltele, cuarțitele, granitele, gresiile, conglomeratele, șisturile grezoase, cărbunoase etc. Dacă s-ar putea induce în rocă o fracturare suplimentară lîngă front sau dacă adîncimea zonei de fracturare s-ar putea extinde, atunci probabilitatea de apariție a exploziilor ar fi diminuată (fig. XVI.126).

Starea de tensiune are o mare influență asupra producerii fenomenelor dinamice fiind factorul preponderent în cazul adîncimilor mici. Odată cu creșterea adîncimii și dacă starea naturală de tensiune este numai de origine gravitațională, pericolul apariție, exploziilor de rocă se micșorează. O asemenea micșorare este efectul minimizării atît a tensiunilor de forfecare cît și a concentrărilor se tensiune datorită egalizării componentelor dtării secundare de tensiune și manifestării unei stări apropiate de cea hidrostatică.

În cazul în care în masiv există o stare naturală complexă de tensiune (situație frecvent întîlnită în realitate), atunci, chiar la adîncimi mari și în special în cazul zăcămintelor tectonizate, producerea exploziilor este mult favorizată.

Exploziile de rocă se întîlnesc frecvent în zonele anticlinale și sinclinale cu înclinări mari ale flancurilor. Sînt însă semnalate la zăcăminte neafectate de fenomene disjunctive și plicative dar la înclinări sub 20°.

În minele de cărbuni, unde se utilizează metode de exploatare cu stîlpi (lungi sau scurți) sau cu front lung continuu sau trepte răsturnate, există posibilitatea apariției fenomenelor dinamice datorită implicațiilor ce le pot crea aceste metode: lăsarea de stîlpi de cărbune neextrași, decalaj între fronturile de lucru etc. Asemenea fenomene, în contextul acestor metode, s-au produs la extragerea stîlpilor de lîngă galeriile direcționale, dintre abatajele cu front lung, la lăsarea de pilieri în spațiul exploatat.

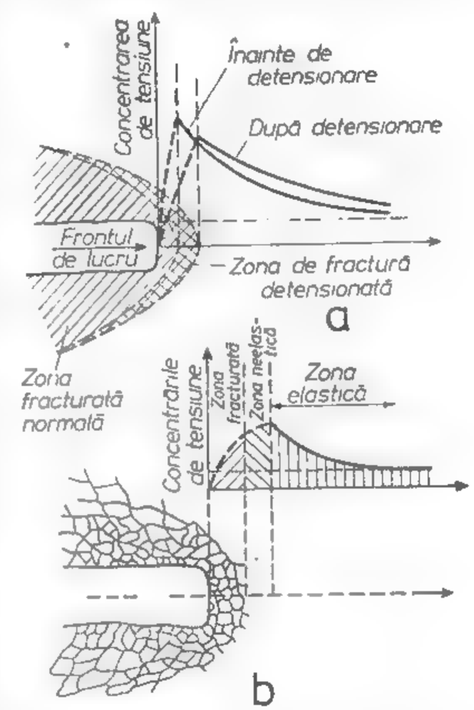


Fig. XVI.126. Starea de tensiune în fața frontului:
a — concentrarea de tensiune în fața frontului detensionat și *b* — lîngă frontul de lucru.

Exploziile de rocă sînt rezultatul fracturării rocii. Roca este supusă acțiunii unei stări de tensiune excesive (mai mare decît rezistența ei) și ca urmare se fracturează brusc, caz în care printr-o asemenea manifestare ea se eliberează în mod instantaneu de energia înmagazinată în timpul solicitării. Înmagazinarea energiei de către rocă este un fenomen similar comprimării unui arc. Același mecanism este întîlnit și în cazul rocilor. Cantitatea de energie eliberată la producerea exploziei de rocă este deci acumulată sub o stare de tensiune de compresiune și nu de tracțiune, deoarece raportul dintre principalele rezistențe ale rocilor este: $\sigma_t < \tau < \sigma_c$. Observațiile și rezultatele experimentărilor conduc la afirmația că în jurul excavațiilor este favorizată fracturarea și ruperea rocilor mai mult prin forfecare decît prin tracțiune. Deci o explozie de rocă se produce atunci cînd roca casantă este supusă la tensiuni de compresiune suficient de mari, cauzînd brusc ruperea de-a lungul planelor de forfecare (fig. XVI.127).

Intensitatea de fracturare în timpul exploziilor de rocă depinde sau poate fi caracterizată de parametrii din fig. XVI.128. Roca casantă și elastică înmagazinează pe unitatea de volum o cantitate de energie $\mathcal{E}$ dată de relația:

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma_1^2}{2E} \quad [\mathrm{mN/m^3}] \qquad (6.1)$$

în care σ_1 este tensiunea principală maximă, N/m².

Prin urmare, capacitatea de înmagazinare a energiei de către o rocă sau substanță minerală utilă este invers proporțională cu valoarea modulului de elasticitate E. Valoarea modulului de elasticitate a cărbunilor este extrem de mică comparativ cu al rocilor și deci, așa cum o confirmă și observațiile, fenomenele de explozie sînt mai des întîlnite în stratele de cărbune decît în rocile înconjurătoare acestora.

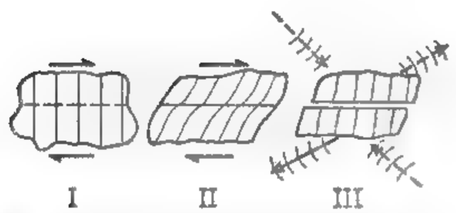


Fig. XVI.127. Fazele de producere a exploziilor de rocă.

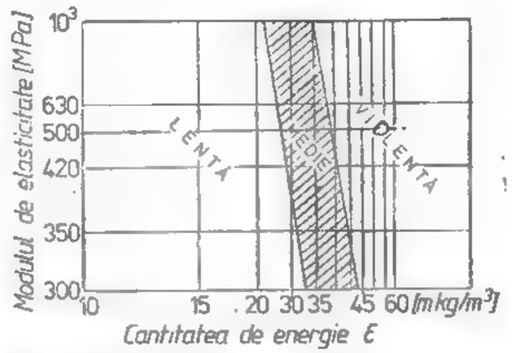


Fig. XVI.128. Clasificarea exploziilor de rocă funcție de rigiditatea și energia inmagazinată la fracturare.

Cantitatea de energie potențială $\mathcal{E}$ care se eliberează în timpul exploziilor de rocă ca energie cinetică este constituită din două componente: energia potențială $\mathcal{E}_{p1}$ de deformare elastică acumulată de roca din masiv în limitele fenomenului dinamic; energia potențială $\mathcal{E}_{p2}$ acumulată pe baza compresiunii elastice creată de efortul tangențial. Deci:

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_{p1} + \mathcal{E}_{p2} \tag{6.2}$$

unde:

$$\mathcal{E}_{p1} = \frac{\sigma_c^2}{2E} V_r; \quad \mathcal{E}_{p2} = \frac{\sigma_c \cdot A \cdot \varepsilon_0 \cdot a}{5}. \tag{6.3}$$

În aceste relații: σ_c este valoarea medie a celei mai mari tensiuni normale;

V_r — volumul de rocă fragmentat la explozia de rocă;

A — suprafața elementului dislocat; ε_0 — valoarea maximă a relaxării sau deplasării radiale: $\varepsilon_0 = \sigma / E$ (0,625—0,34%);

a — lățimea zonei de relaxare la producerea exploziei.

Deci:

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma_c^2 \cdot A}{2} \left(\frac{m}{E} + \frac{2a}{5E_r} \right). \tag{6.4}$$

unde m este grosimea zăcămîntului; E_r — modulul rocilor; E modulul suanstbei minerale utile.

6.1.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE SINGULARE

În roca înconjurătoare lucrărilor miniere se produc concentrări ale stării de tensiune naturale preexistente ce creează tensiuni tangențiale de compresiune. Aceste tensiuni constituie cauza apariției în rocă, la extremitățile fisurilor naturale sau a celor apărute în urma excavării, a unor eforturi de tracțiune paralele cu direcția de solicitare a tensiunilor tangențiale la compresiune (conform ipotezei lui *Grifith*). Datorită acestor solicitări, la un moment dat se produce fracturarea și elementele de rocă sînt refulate avînd drept consecință azvîrlirea lor din peretele lucrării, mai mult sau mai puțin violent, funcție de capacitatea de înmagazinare a energiei de către rocă — fenomen denumit *exfoliere, dalare* sau *izbucnire de rocă*. Acestea sînt *exploziile de factură minoră*, iar dacă fenomenul se extinde și în adîncime atunci sînt *explozii de factură medie* care se manifestă de fapt în lucrările miniere singulare (fig. XVI.129).

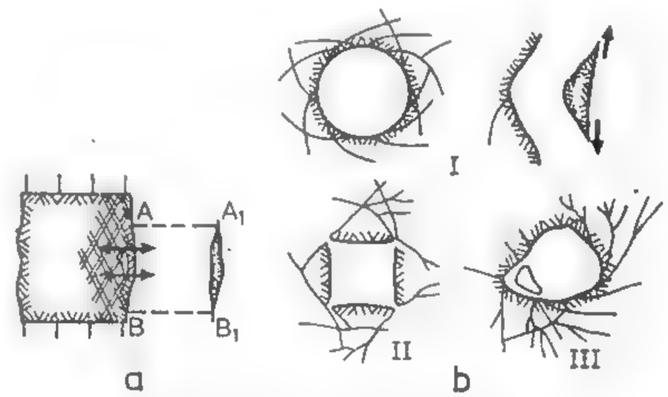


Fig. XVI.129. Tipuri de explozii de rocă:

a — explozie minoră: ruperea rocii prin fracturare sau forfecare; *b* — explozie moderată: tipuri de fracturare (*I, II, III*) în cazul unei stări de tensiune izotropă.

În cazul în care tensiunea tangențială de compresiune este orizontală, atunci fracturarea se produce la tavanul sau la vatra lucrării, iar dacă este verticală fracturarea se produce în pereții acesteia.

6.1.2. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE MULTIPLE ȘI ÎN ABATAJE

În acest caz fenomenul de explozie este mult mai intensiv, în sensul că efectele sînt mai dezastroase, cu toate că mecanismul de producere este identic. În funcție de localizarea focarului de explozie (fractura principală produsă de explozie) și de efectele produse, aceste fenomene de factură majoră se pot încadra în două subgrupe:

— lovituri de acoperiș sau culcuș care se produc prin ruperea bolții create de rocă în tendința ei de echilibrare în jurul excavației;

— explozii produse în zăcămînt.

Loviturile de acoperiş sau culcuş apar ca urmare a distrugerii stării de echilibru din jurul excavaţiilor (lucrări multiple, abataje). Ruperea se produce ca urmare a acţiunii tensiunilor de forfecare ce se manifestă (fig. XVI.130).

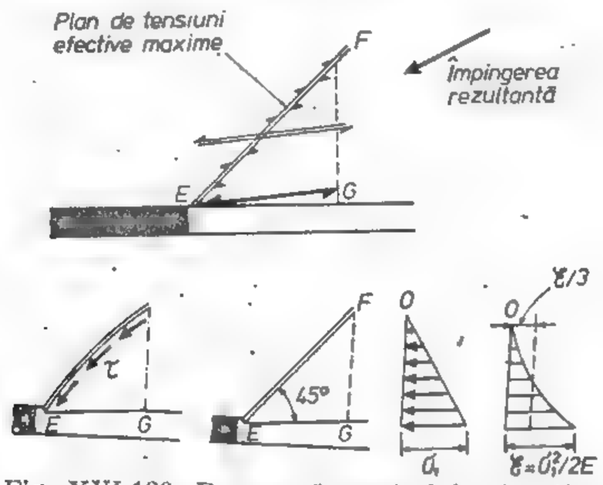


Fig. XVI.130. Ruperea acoperişului sub acţiunea tensiunilor de forfecare în cazul zăcămintelor de cărbune.

Direcţia lui τ variază cu direcţia şi tipul de solicitare, de la orizontală (în cazul unei stări de tensiune complexe) pînă la verticală (în cazul stării gravitaţionale). Considerînd situaţia complexă de solicitare, fracturarea se va produce după o direcţie $E-F$ (fig. XVI.130), progresînd în spre interiorul rocii în mod ascendent din O, degajîndu-se în cîteva milisecunde un volum mare de rocă ce este azvîrlit în spaţiul exploatat. Analizînd blocul de forma EFG în momentul fragmentării şi expandării, se poate stabili valoarea energiei elastice înmagazinate de această porţiune (EFG) înainte de rupere, deci :

$$\mathcal{E} = k\,\sigma_1^2 \qquad (6.5)$$

unde k este 0,5 E în conformitate cu relaţia (6.1) ; σ_1 — tensiunea normală principală maximă ; E — modulul de elasticitate al rocii. Ca urmare, linia care delimitează energia înmagazinată este o parabolă, iar suprafaţa închisă de acesta reprezintă energia totală înmagazinată de blocul considerat.

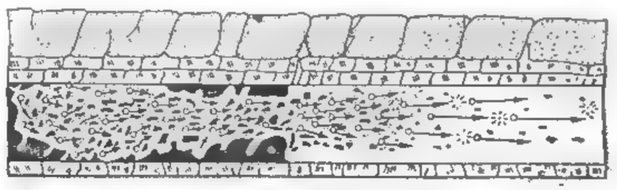


Fig. XVI.131. Explozii de cărbune.

Exploziile produse în zăcămînt. În cazul zăcămintelor de cărbuni, exploziile care se produc la exploatarea acestora dezvoltă o fragmentare violentă numai a cărbunelui, fără nici o afectare iniţială a rocilor înconjurătoare. În mod obişnuit majoritatea exploziilor de cărbune se produc în zăcăminte tabulare, în acoperişul cărora se situează strate groase de rocă tare de tipul gresiilor, conglomeratelor, marno-calcarelor etc. (tabelul XVI.37). Mecanismul de producere a unor asemenea fenomene rezultă din fig. XVI.131.

Tabelul XVI.37

Rezistenţa rocilor din acoperişul şi culcuşul stratelor de cărbune

Denumirea	Rezistenţa de rupere la compresiunea, σ_i [MPa]	Modulul de elasticitate, E [MPa]
Rocile din acoperiş sau culcuş	20—135	$210\cdot10^2$ — $450\cdot10^2$
Cărbunele	6—35	$21\cdot10^2$ — $45\cdot10^2$

Toate observaţiile arată că pentru evidenţierea cărbunilor susceptibili la degajări bruşte şi instantanee faţă de cei care nu au o astfel de proprietate, trebuie măsurată viteza de absorbţie sau desorbţie a acestora.

În cazul zăcămintelor de minereu, substanţa minerală utilă este în mod frecvent mai tare decît rocile înconjurătoare şi deci exploziile în asemenea zăcăminte se produc numai la adîncimi mari şi prin fracturarea acoperişului sau a culcuşului lîngă frontul de lucru şi a zăcămîntului însuşi.

6.2. ERUPŢIILE DE CĂRBUNE ŞI GAZ SAU ROCĂ-APĂ ŞI GAZ (VIITURI)

Sînt tot o formă de manifestare dinamică a regimului de presiune minieră, adică a stărilor secundare de tensiune. Acestea sînt caracterizate ca fenomene bifazodinamice (gazodinamice) sau trifazodinamice (gazolichidodinamice). În esenţă constau în detaşarea bruscă din abataj şi sfărîmarea rocii sau a cărbunelui cu degajarea simultană a unor cantităţi considerabile de gaz sau apă şi gaz. Deci erupţiile pot fi definite ca fenomene de dislocare rapidă a unor porţiuni oarecare din masiv însoţite de sfărîmarea intensivă, mărunţirea rocii şi aruncarea ei în excavaţia minieră, cu degajarea simultană a unor cantităţi considerabile de gaz.

Un fenomen asemănător, cu toate că în genere se produce din vatra abatajelor, este acela de erupţie a borchişurilor însoţite de gaze, adică viiturile (caracteristic zăcămintelor de lignit).

Aceste fenomene se pot caracteriza prin forţa sau scara la care se produc. În afară de aceasta, se poate stabili coeficientul emanaţiei de gaz sau gaz şi apă k_g respectiv k_{gw}, prin raportul :

$$k_g = \frac{Q_g}{Q_m} \quad \text{sau} \quad k_{gw} = \frac{Q_{gw}}{Q_m} \qquad (6.6)$$

unde : Q_m este cantitatea de rocă adusă de erupţie ; Q_g şi Q_{gw} cantitatea de gaz respectiv gaz-apă degajată de erupţie.

Intensitatea erupţiei, I_e, este :

$$I_e = \frac{Q_m}{t} \; ; \; I_e = \frac{Q_g}{t} \; ; \; I_e = \frac{Q_{gw}}{t} \tag{6.7}$$

unde t este durata fenomenului de erupţie.
În cazul sistemului complex rocă-apă-gaz se poate scrie :

$$\tau' = c + (\sigma_N - \sigma)\,\mathrm{tg}\,\varphi = c' + \sigma_N \;\mathrm{tg}\cdot\varphi \tag{6.8}$$

unde τ' este tensiunea efectivă de forfecare ; c' — modificarea coeziunii în funcţie de tensiunea din pori a fazei gazoase şi lichide ;

σ_N — tensiunea normală totală ;

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 - \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1 + i_0}{i_0}} \tag{6.9}$$

σ_0 este starea de tensiune a fazei gazoase sau lichide ; $\frac{\Delta V}{V}$ — creşterea de volum ; i_0 — indicele golurilor.

Prin urmare, cu cît variaţia volumului specific este mai mare cu atît se micşorează rezistenţa rocii. Prezenţa în rocă a unei faze sau chiar a două faze explică fenomenul de slăbire a rocii şi îl diversifică după cum variază raportul $\frac{\Delta V}{V}$. Astfel, dacă $\frac{\Delta V}{V} > 0$, apare fisurarea rocii şi favorizează apariţia erupţiei, dacă $\frac{\Delta V}{V} < 0$ fisurarea se produce lent şi nu apar fenomene dinamice.

Pericolul de erupţie sau viitură poate fi prognozat pe baza parametrilor dependenţi de distanţa frontului de lucru. Locul cel mai nefavorabil unde comportamentul rocii trece de la cel elastic la plastic este distanţa X_0 :

$$X_0 = \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{0{,}5 < m \cdot a + j - \frac{1}{m-1}}{(m-1)\left[\frac{\sigma}{\sigma_z - \sigma_0} + \frac{j}{m-1} - 1\right]} \right\} \tag{6.10}$$

unde : a este semideschiderea abatajului ; m — constanta lui *Poisson* ;

$$j = \frac{1 + \sin\varphi}{1 - \sin\varphi} = \mathrm{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \tag{6.11}$$

Condiţia generală de apariţie a erupţiilor sau a viiturilor este dată de expresia :

$$\sigma_c < p_0 \frac{j-1}{1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_c}} \left\{ 1 + 1{,}3 \frac{1 + i_0}{i_0} \cdot \frac{m-2}{mE} \cdot \frac{(m - 1\,(m \cdot n \cdot a - 1) - 2}{(m-1)\,(0{,}5\,m \cdot n \cdot a + j) - 1} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left[[\sigma_p + (H\gamma_a - p_0) \left(\frac{j}{m-1} - 1 \right) \right] \right\} \tag{6.12}$$

în care : p_0 este presiunea iniţială a gazelor sau a apei din pori ; n — coeficientul de siguranţă al susţinerii ; σ_p — limita plastică sau de curgere a rocii.

Prin urmare pericolul erupţiei sau a viiturilor poate fi stabilit prin analiza parametrilor naturali : H ; γ_a ; i_0 ; φ ; E ; sau m ; i_0 ; şi p ; σ_c ; σ_p şi a celor tehnici n şi a.

Posibilităţile de prevenire şi combatere trebuie să aibă la bază dirijarea stării secundare de tensiune, adică o determinare a zonelor înconjurătoare suprafeţelor libere, pentru modificarea caracteristicilor de deformare a rocilor şi acolo unde este necesar o degazare respectiv o asecare prealabilă.

7. INFLUENŢA EXPLOATĂRILOR SUBTERANE ASUPRA TERENULUI DE LA SUPRAFAŢĂ

7.1. DEFORMAREA SUPRAFEŢEI TERENULUI SUB INFLUENŢA EXPLOATĂRII SUBTERANE

7.1.1. CARACTERUL DEPLASĂRII ŞI DEFORMĂRII MASIVULUI DE ROCI ŞI A SUPRAFEŢEI TERENURILOR

Prin extragerea pe o anumită suprafaţă din zăcămînt a substanţei minerale utile, excavaţiile subterane rezultate, atît în cazul cînd sînt rambleiate, dar mai ales atunci cînd se aplică dirijarea presiunii prin surpare totală, pun în mişcare masivul de roci acoperitoare, care caută să umple spaţiul creat de exploatare. În funcţie de natura şi caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, de adîncimea la care se află zăcămîntul ce se extrage, în masivul de roci acoperitoare, în mişcarea sa spre spaţiul exploatat, în timp, iau naştere trei zone (fig. XVI.132) :

— zona surpărilor neregulate (*1*) ;
— zona surpărilor regulate (*2*) ;
— zona îndoirii stratelor sterile după stratificaţie (*3*).

Se consideră că în cazul în care adîncimea stratului ce se exploatează este mai mică de 100—150 m, și aceasta în dependență cu caracteristicile de deformare și mecanice ale rocilor, zona a treia, a îndoirii stratelor după stratificație, poate să lipsească.

În acest mod, mișcarea întregului masiv de roci spre spațiul exploatat se transmite suprafeței terenului de la zi. Propagarea mișcării masivului de roci spre suprafața terenului

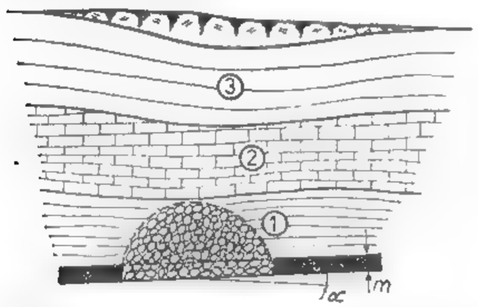


Fig. XVI.132. Modul de deplasare și deformare a masivului de roci sub influența exploatării subterane.

atinge o zonă din ce în ce mai mare, astfel încît atunci cînd ajunge la zi, forma luată de ansamblul deplasării și deformării poate fi asemănător cu o pîlnie aproximativ piramidală (fig. XVI.133). Mărimea suprafeței de la zi afectată de mișcarea întregului masiv de roci, față de mărimea spațiului exploatat, este delimitată prin plane care cu planul orizontal fac anumite unghiuri (fig. XVI.133), denumite *de scufundare* (β_s, γ_s transversal pe zăcă-

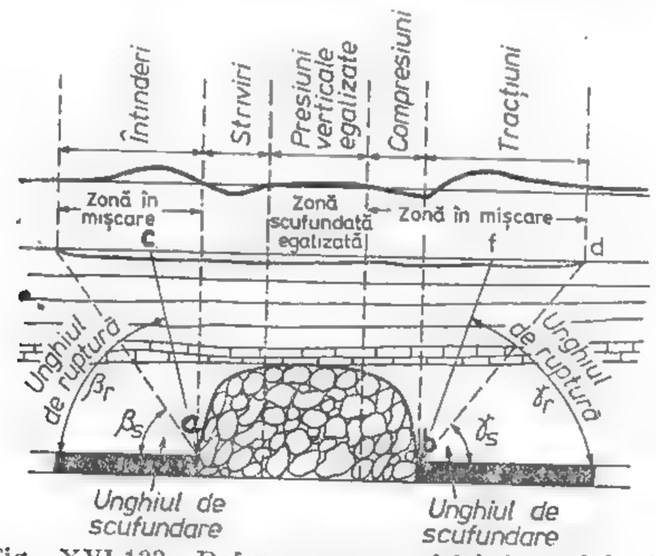


Fig. XVI.133. Deformarea suprafeței terenului și extindere în plan a zonei de scufundare.

mînt și δ_s după direcția zăcămîntului). În interiorul pîlniei de scufundare, la suprafața terenului, apar linii de fractură (*ac*, *bf*) înclinate sub diferite unghiuri, denumite *de rupere* (β_r, γ_r, δ_r).

În funcție de adîncimea de exploatare, de natura și caracteristicile mecanice ale rocilor, în locurile unde liniile de fractură definite prin unghiurile de rupere străpung

suprafața de la zi, apar crăpături. Din observațiile făcute asupra scufundărilor, rezultă că atît masivul de roci cît și suprafața suferă deplasări și deformări, luînd naștere eforturi de compresiune și de tracțiune (fig. XVI.133).

7.1.2. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PROCESUL DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Dintre factorii mai importanți care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, se menționează:

— caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
— tectonica zăcămîntului și masivului de roci;
— condițiile hidrogeologice;
— grosimea și înclinarea stratelor ce se exploatează;
— metoda de exploatare;
— metoda de dirijare a presiunii rocilor înconjurătoare;
— dimensiunile spațiului exploatat;
— adîncimea de exploatare etc.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor situate deasupra stratului în exploatare reprezintă un factor important al procesului de deplasare și dislocare a rocilor. Rocile cu caracteristici clastice, în special cele casante, se rup în momentul în care eforturile la care sînt supuse — greutatea proprie sau suprasarcinile statice și dinamice datorite rocilor de deasupra — depășesc rezistența lor mecanică și se surpă în spațiul exploatat. În funcție de adîncimea de exploatare, în acest caz, pot apărea la suprafață deplasări discontinui însoțite de crăpături. Dacă, însă, rocile au caracteristici plastice predominante, stratele de deasupra excavațiilor create în zăcămînt prin exploatare se coboară lin, îndoindu-se după stratificație și produc la suprafața de la zi deplasări continue fără apariția de crăpături.

Existența stratelor acvifere în acoperișul stratului în exploatare, fie că se asecă sau nu, amplifică mărimea deplasărilor și deformărilor ce apar la suprafața terenului.

Grosimea și înclinarea zăcămîntului sînt, de asemenea, factori importanți în procesul de deplasare-deformare a rocilor acoperitoare. Cu cît zăcămîntul este mai gros, oricare ar fi înclinarea lui, cu atît deplasarea și deformarea rocilor înconjurătoare va fi mai accentuată, iar terenul de la suprafață va suferi mai mult de pe urma fenomenului de tasare-scufundare. La înclinări mari și foarte mari, oricare ar fi adîncimea de exploatare, mai ales atunci cînd rocile înconjurătoare au rezistență și stabilitate mică, dislocările și surpările se fac simțite la suprafață.

Metoda de exploatare și în special metodele de dirijare a acoperișului — a căror aplicare este strîns legată de caracteristicile fizice și mecanice ale rocilor din acoperișul direct și principal al zăcămîntului exploatat — contribuie și ele la amplificarea procesului de deplasare și deformare a masivului de roci și implicit a suprafeței terenului. În cazul zăcămintelor de cărbune, extragerea prin abataje cameră, indiferent de adîncime, produce la suprafață deplasări și deformări discontinue, cu apariția de crăpături, pe cînd extragerea cu abataje frontale poate da naștere la scufundări continui, fără apariția de crăpături. Dirijarea presiunii prin surpare totală conduce la valori mai mari ale scufundării suprafeței terenurilor de la zi în raport cu dirijarea prin rambleiere totală sau parțială.

Mărimea spațiului exploatat influențează direct forma deplasărilor pe verticală a suprafeței terenurilor precum și mărimea deformațiilor ce apar. Adîncimea de exploatare este unul din parametrii esențiali care caracterizează caracterul deplasării și deformării

suprafeței terenurilor. La adîncimi mici deplasările și deformările sînt discontinui. Odată cu creșterea adîncimii de exploatare, deplasările sînt continui, mărimea acestora scade. De la o anumită adîncime, în concordanță cu alți factori, mărimea deplasărilor și deformărilor suprafeței devine practic nulă.

7.1.3. PARAMETRII ȘI ELEMENTELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Strate orizontale și cu înclinare mică. Ca rezultat al exploatării pe o anumită suprafață a unui strat orizontal cu înclinare mică, la o adîncime suficient de mare, mișcarea masivului de roci acoperitoare spre spațiul exploatat în timp afectează suprafața terenului de la zi, producînd deplasarea și deformarea acestuia. Caracterul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane este caracterizat prin parametrii săi specifici și anume :

— unghiurile de scufundare (β_s, γ_s, δ_s) și de rupere (β_r, γ_r, δ_r) ;
— deplasarea verticală, sau scufundarea, W (mm) ;
— deplasarea orizontală, U (mm) ;
— deformația specifică orizontală, ε (mm/m) ;
— înclinarea, T (mm/m) ;
— curbura, K, (m^{-1}, km^{-1}).

Considerînd deasupra spațiului exploatat la suprafața de la zi două aliniamente topografice, unul perpendicular și altul paralel cu frontul de abataj, cu puncte situate la anumite distanțe constante între ele și determinînd pentru fiecare punct în parte parametrii amintiți, se vor obține curbele care definesc deformarea și deplasarea suprafeței de la zi (fig. XVI.134). Pentru zăcămintele stratiforme, orizontale și cu înclinare mică, curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sînt simetrice față de o dreaptă verticală ridicată deasupra jumătății spațiului exploatat (fig. XVI.134).

Unghiurile de scufundare se stabilesc prin măsurători topografice pentru fiecare bazin minier și depind de condițiile geologo-miniere ale zăcămîntului, înclinarea și adîncimea stratelor. În tabelul XVI.38 sînt prezentate valorile unghiurilor de scufundare din principalele bazine carbonifere din țară și din unele bazine miniere din alte țări.

Parametrii de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor se obțin prin :
— măsurători topografice ;
— calcule matematice de prognoză.

Strate cu înclinare medie și mare. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor de la zi este redată în fig. XVI.135. Din figură se observă că curba deplasărilor verticale este asimetrică în raport cu jumătatea spațiului exploatat. Maximul scufundării verticale este deplasat în partea din amonte a spațiului exploatat. Unind punctul de scufundare maximă de pe albia de scufundare cu mijlocul spațiului exploatat, aceasta face cu orizontala unghiul θ, a cărui valoare depinde în principal de următorii factori :

— caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare ;
— unghiul de înclinare a stratului ;
— adîncimea de exploatare ;
— metoda de exploatare și dirijare a presiunii ;
— dimensiunile spațiului exploatat etc.

Valoarea unghiului θ se stabilește în urma determinării prin măsurători topografice a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, în funcție de condițiile geologice și de exploatare din fiecare bazin minier.

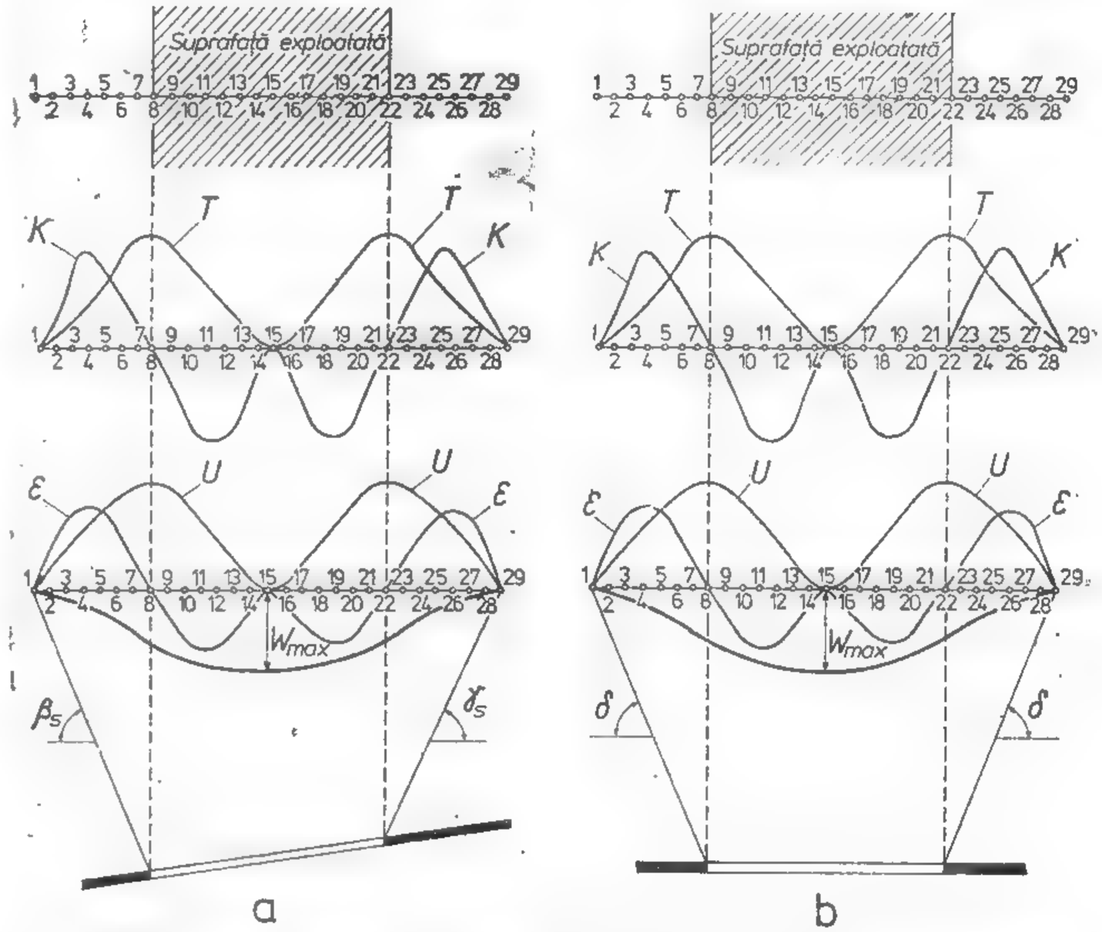


Fig. XVI.134. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor pentru strate orizontale și de înclinare mică :

a — secțiune transversală pe zăcămînt ; b — secțiune longitudinală prin zăcămînt ; W — curba deplasărilor verticale (albia de scufundare) ; U — curba deplasărilor orizontale ; ε — curba deformațiilor specifice orizontale ; T — curba înclinării albiei de scufundare ; K — curba curburii albiei de scufundare.

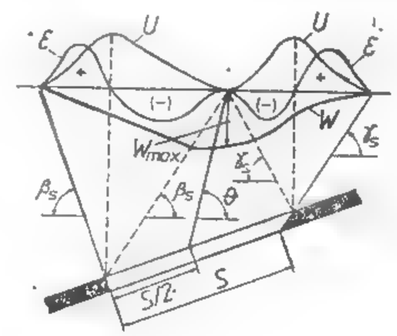


Fig. XVI.135. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenului pentru strate de înclinare medie și mare :

W — albia de scufundare ; U — curba deplasărilor orizontale ; ε — curba deformațiilor specifice orizontale.

Tabelul XVI.38

Valorile unghiurilor de scufundare în diferite bazine miniere din țară și din străinătate

Țara	Bazinul minier	Unghiul de scufundare β_s	γ_s	δ_s	Înclinarea zăcămîntului [grade]	Categoria de protecție	Felul zăcămîntului
România	Motru	63 69	60 64	60 64	0—5 0—5	I II	Lignit
	Cîmpulung-Muscel	60 63	25 57	54 54	14 14	I II	Lignit
	Filipeștii de Pădure	63	57	60	12	I—IV	Lignit
	Valea Jiului*)	72	68	64'	Variabilă	I—IV	Huilă
	Deva	87	78	72	Vertical	I—IV	Minereu de cuprifer
	Bălan	83	73	70	>75	I—IV	Idem
Polonia	Silezia superioară	72	72	72	0—12	I—IV	Huilă
Cehoslovacia	Moravia	76	72	62	< 18	I—IV	Huilă
U.R.S.S.	Donet	85 90—α 90—α	85 90 85	85 85 85	0—5 6—44 90—α	I—IV	Huilă
	Kuznet	74 79 83 63 52 52	80 83 85 71 73 75	80 83 85 83 83 83	10 10 10 45 45 45	I II III I II III	Huilă
	Moscovei	65	55	50	0—8	I—IV	Cărbune brun
R.F.G.	Ruhr	78	69	64	0—18	I—IV	Huilă

*) Prin studiile întocmite în ultimii ani, în bazinul Văii Jiului au fost stabilite unghiuri de scufundare variabile cu înclinarea și adîncimea. Valorile acestor unghiuri nefiind confirmate de practică și legiferate, în tabel au fost date valorile unghiurilor după care s-au trasat pilierii de siguranță.
α — unghiul de înclinare al zăcămîntului.

7.1.4. STADIILE DE DEZVOLTARE A ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Pentru a cunoaște stadiile de dezvoltare a albiei de scufundare pe măsura exploatării, se pornește de la raportul dintre mărimea suprafeței abatajului și înălțimea pe care ar avea-o un presupus pilier de siguranță H, a cărui bază ar fi chiar suprafața cîmpului exploatat.

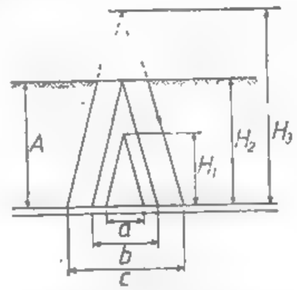


Fig. XVI.136. Stadiu de dezvoltare a albiei descufundare determinate de raportul $\frac{H}{A}$.

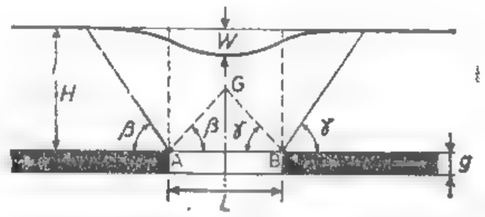


Fig. XVI.137. Albie de scufundare subcritică.

În acest scop, dacă din marginile frontului de abataj se construiesc invers unghiurile de scufundare (β_s, γ_s, δ_s) se obține o piramidă a cărei înălțime este H (fig. XVI.136).

Notînd cu A adîncimea medie a exploatării și făcînd raportul între H și A, se deosebesc trei stadii de dezvoltare a albiei de scufundare și anume:

— *albie subcritică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L < 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} < 1$, adică vîrful presupusului pilier de siguranță nu va atinge suprafața de la zi. Albia de scufundare are forma unei căldări și nici un punct de la suprafață nu va atinge scufundarea verticală maximă (fig. XVI.137);

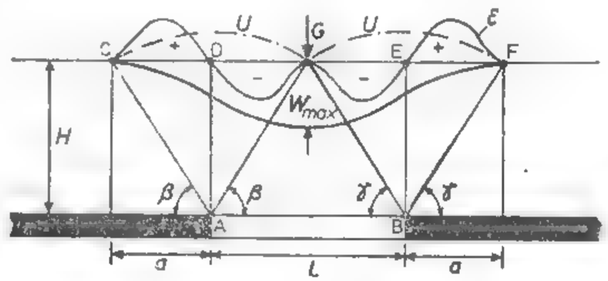


Fig. XVI.138. Albie de scufundare critică.

— *albie critică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L = 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} = 1$, adică vîrful presupusului pilier de siguranță atinge suprafața de la zi. În acest caz un singur punct de la suprafață atinge scufundarea verticală maximă, în dreptul centrului suprafeței exploatate (fig. XVI.138).

— *albie supracritică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L > 2H\text{ctg}\,\gamma_s$ sau $\frac{H}{A} > 1$, adică vîrful presupusului pilier de siguranță depășește nivelul suprafeței de la zi.

Albia de scufundare, pe o mare întindere a zonei centrale, este largă, orizontală, mai multe puncte de la suprafață ating scufundarea verticală maximă. În această zonă nu apar

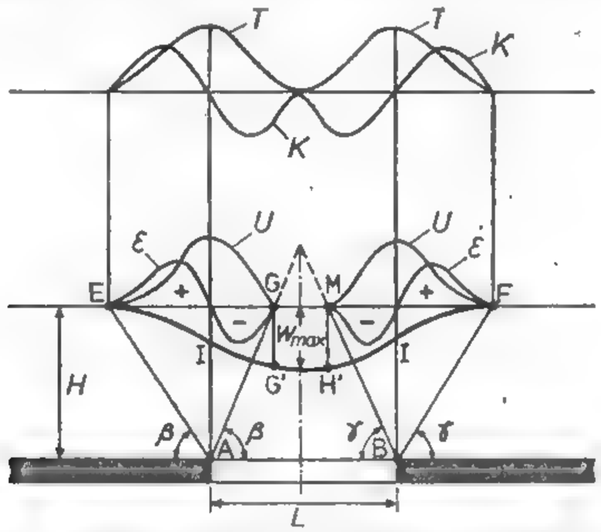


Fig. XVI.139. Albie de scufundare supracritică.

deplasări și deformări orizontale (fig. XVI.139). În punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, aflat pe verticala ridicată deasupra marginii frontului de abataj, scufundarea verticală este

$$W_I = \frac{1}{2} W_{max}.$$

În zona HE — scufundarea verticală a unui punct este cuprinsă în limitele:

$$\frac{1}{2} W_{max} < W < W_{max}.$$

iar în zona EF, scufundarea verticală a unui punct este

$$0 < W < \frac{1}{2} W_{max}.$$

7.2. METODE DE STUDIU A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Protecția obiectivelor industriale, sociale și naturale de la suprafața perimetrelor miniere se face prin trasarea și dimensionarea pilierilor de siguranță (protecție). În multe din cazuri se pune problema valorificării rezervelor de substanță minerală utilă imobilizate în acești pilieri de siguranță, deci punerea în exploatare și introducerea lor în circuitul economic. În această situație se întreprind studii pentru cunoașterea deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor sub influența exploatării unui zăcămînt situat în anumite condiții geologo-miniere și de exploatare. În studierea unei astfel de probleme sînt folosite metode topografice și metode matematico-analitice de calcul de prognoză.

Metodele topografice[1] constau în amplasarea, la suprafața terenurilor, de stații de măsurare topografică a parametrilor de deplasare și deformare. Aceste stații topografice sînt formate din aliniamente de măsurare, amplasate după direcția și înclinarea stratului, adică perpendicular și paralel cu direcția de avansare a frontului de abataj. Pe fiecare aliniament sînt materializate puncte sub forma unor repere situate la anumite distanțe. În aceste aliniamente se fac măsurători de nivelment și distanțe orizontale dintre repere. Prin măsurători de nivelment se determină scufundările verticale a suprafeței terenului și se ridică *curba scufundărilor verticale* sau *albia de scufundare*. Din calcule se determină curba înclinării și curba curburii albiei de scufundare.

Executînd măsurători de distanțe orizontale dintre repere, se determină *deplasările orizontale* și se ridică curba acestora. Din calcule se determină valoarea deformațiilor specifice orizontale. Totodată, în urma tuturor măsurătorilor efectuate se determină *unghiurile de scufundare și de rupere*. Metodologiile de efectuare a măsurătorilor, a calculelor de determinare a unor parametri, precum și modul de prelucrare a datelor, constituie obiectul unui capitol din cadrul Topografiei miniere (v. Secțiunea XV).

Metodele matematico-analitice de calcul constau în adoptarea unor relații de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor. În acestă situație, se aplică una din metodele de calcul ce a fost elaborată pentru condiții geologo-miniere asemănătoare cu zăcămîntul ce trebuie exploatat și care, verificată în practică, a condus la rezultate satisfăcătoare. Literatura de specialitate pune la dispoziție în prezent o multitudine de metodologii de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane, ale căror rezultate au fost confirmate de practica inginerească.

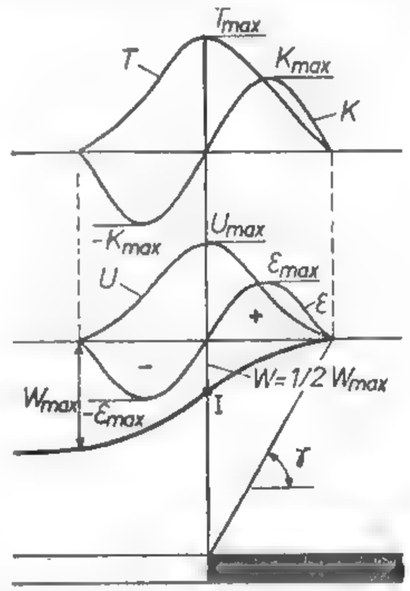


Fig. XVI.140. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare.

7.2.1. DEPENDENȚA MATEMATICĂ ÎNTRE CURBELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE

Considerînd cazul unei albii de scufundare critică sau supracritică, se observă că între curbele de deplasare și deformare există o dependență matematică. Față de sistemul de axe de coordonate adoptat, rezultă următoarele (fig. XVI.140):

— în punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, curba înclinării prezintă un maxim și are valoarea zero în punctul unde apare scufundarea verticală maximă;

— pentru valoarea maximă a curbei înclinării, curba curburii albiei de scufundare are valoarea zero.

De asemenea, pentru valoarea zero a deformațiilor specifice orizontale, curba deplasărilor orizontale prezintă un maxim.

Această dependență între curbele de deplasare și deformare poate fi exprimată matematic sub forma:

— dacă $W(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor verticale, atunci ecuația curbei înclinărilor va fi $T(x) = \frac{dW}{dx}$, iar ecuația curbei curburii albiei de scufundare, $K(x) = \frac{d^2 W}{dx^2}$;

— dacă $U(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor orizontale, atunci ecuația curbei deformațiilor orizontale va fi $\varepsilon(x) = \frac{dU}{dx}$.

De fapt, această dependență matematică rezultă din însăși modul de ridicare prin metode topografice a acestor curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane.

S. G. Aversin, pe baza studierii unui foarte mare număr de măsurători topografice, a stabilit că între curba înclinării și curba deplasărilor orizontale poate fi acceptată o legătură de forma:

$$U(x) = B(y)T(x) \text{ de unde } U(x) = B(y)\frac{dW}{dx} \qquad (7.1)$$

unde:

$B(x)$ este funcție dependentă de adîncimea de exploatare și de caracteristicile geologice ale zăcămîntului. Se stabilește experimental pentru fiecare bazin în parte.

Ținînd seama de cele arătate mai sus, rezultă că și

$$\varepsilon(x) = B(y)\frac{dU}{dx} \text{ sau } \varepsilon(x) = B(y)\frac{d^2 W}{dx^2} \qquad (7.2)$$

De asemenea, rezultă că dacă se poate găsi o funcție matematică care să exprime deplasările verticale $W(x)$, prin derivări succesive și ținînd seama de legătura între $U(x)$ și $T(x)$ dată de *Averșin* — se pot stabili ecuațiile celorlalte curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenului.

7.2.2. EVOLUȚIA METODELOR DE CALCUL A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFEȚEI TERENURILOR

După modul cum a fost rezolvată problema, teoriile și metodele matematice elaborate se pot împărți în două mari clase:

I. Teorii ce au la bază relații empirice, deduse pe baza observațiilor topografice și prin intuiții, privind modul de manifestare a fenomenului. Aceste teorii au astăzi numai o importanță istorică și de documentare.

II. Metode matematice, elaborate fie pe baza prelucrării riguros matematice a observațiilor topografice, fie că se axează pe legi de comportament a corpurilor solid deformabile. Acestea, în funcție de modul cum au rezolvat problema, pot fi clasificate în trei grupe și anume:

1) Teorii ce descriu fenomenul de mișcare a suprafeței terenurilor cu ajutorul ecuațiilor sub formă integrală și se bazează pe o exprimare geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

Conform acestor teorii, scufundarea suprafeței într-un punct determinat se calculează cu ajutorul unei integrale de suprafață, a funcției de influență, pe domeniul ce reprezintă proiecția suprafeței de strat exploatat în plan orizontal.

Ecuația generală a scufundării are forma:

$$W(x) = W(S)\int \varphi(x, s)ds \qquad (7.3)$$

unde: $W(S)$ este funcția ce descrie scufundarea maximă a suprafeței terenurilor, a cărei valoare diferă de la autor la autor și de la un bazin minier la altul;

$\varphi(x, s)$ — funcția de influență, a cărei formă algebrică diferă de la un autor la altul.

Din această grupă fac parte o serie de metode matematice de calcul de prognoză elaborate în U.R.S.S., R. F. Germania, Anglia, Polonia, Ungaria, România etc.

2) Teorii ce au la bază anumite legi ale teoriei elasticității și plasticității, care stabilesc deformarea și deplasarea suprafeței terenurilor prin așa-zisele ecuații de stare ce dau legătura dintre tensiuni și deformații. Din această grupă fac parte teoriile unor cercetători sovietici, polonezi și români.

3) Metode de calcul ce au la bază legi ale mecanicii stochastice. Din această grupă face parte metodologia de calcul elaborată de cercetătorul polonez *J. Litwiniszyn*.

Dintre cele trei grupe de metode, cele din grupa întîi și a doua au o largă aplicabilitate, practică, fiind frecvent folosite în calculul de prognoză a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor în bazine miniere din diferite țări.

7.3. METODE MATEMATICO-ANALITICE DE CALCUL A PARAMETRILOR SCUFUNDĂRII

În practică apare o mare varietate de albii de scufundare. Pentru a cunoaște exact fenomenul formării albiei de scufundare și construirea modelului ei matematic, trebuie să se aibă în vedere acea albie reală care este conformă cu condițiile acceptate în teoria dată și descrie procesul de scufundare. Condițiile ce se află la baza rezolvării teoretice a problemei acceptate de majoritatea autorilor sînt:

— albia de scufundare a luat naștere ca efect al exploatării unui singur strat;

— marginea frontului de exploatare este dreaptă și suficient de lungă;

— se consideră profilul albiei de scufundare perpendicular pe frontul de exploatare;

— albia de scufundare exprimată prin relații matematice este ultima formată, aceasta însemnînd că mișcarea terenului s-a terminat — fiind denumită *albie statică*, în opoziție cu *albia dinamică*, ce se creează în timpul avansării frontului de exploatare sau după oprirea lui, dacă nu a apărut integrala liniștire a terenului;

— suprafața de strat extrasă este suficient de mare pentru a lua naștere albii de scufundare critice sau supracritice;

— adîncimea de exploatare este suficient de mare pentru ca scufundarea suprafeței să aibă un caracter continuu;

— rocile masivului să dovedească un mare grad de omogenitate și să lipsească deranjamentele tectonice.

7.3.1. STRATE ORIZONTALE ȘI CU ÎNCLINARE MICĂ

Teoria Bayer. Autorul împarte suprafața de strat exploatată în suprafețe elementare și consideră că scufundarea unui punct de la suprafață este funcție de distanța r, a suprafeței elementare exploatată față de centrul suprafeței totale exploatate (fig.

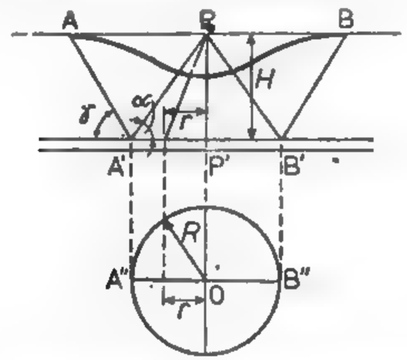


Fig. XVI.141. Schemă de calcul a scufundării verticale conform teoriei *Beyer*.

XVI.141). Scufundarea verticală produsă de acel element de suprafață se determină cu relația:

$$K_s = c\,(1 - i)^2 \quad \text{unde} \quad i = \frac{r}{R} \tag{7.4}$$

Fiecare suprafață elementară exploatată determină asupra terenului de la zi o anumită zonă de influență, a cărei suprafață se poate calcula prin integrarea relației (7.4).

$$I_s = 2\pi\, c \int_D^R \left(1 - \frac{r}{R^2}\right) r \cdot dr \tag{7.5}$$

După efectuarea integrării și din fig. XVI.141, notînd $R = H \operatorname{ctg} \gamma$, se obține expresia:

$$I_p = \pi\, cH^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma \left(i^2 - i^4 + \frac{i^6}{3}\right) \tag{7.6}$$

în care $0 < i < 1$.

Pentru $i = 1$ și $r = R$ se obține relația pentru calculul scufundării totale.

$$I_s = \frac{\pi}{3}\, cH^2 \operatorname{ctg}^2 \beta = W_{max} \tag{7.7}$$

de unde rezultă că:

$$c = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{W_{max}}{R^2} \tag{7.8}$$

$W_{max} = a \cdot m$ este scufundarea maximă,

unde: m este grosimea stratului;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii rocilor în abataj (valorile sînt date în tabelul XVI.39).

Tabelul XVI.39

Valoarea coeficientului a din teoria Knothe-Budry funcție de metoda de dirijare a presiunii în abataj

Metoda de dirijare a presiunii rocilor în abataj	Valoarea coeficientului a
Surpare totală	0,6—0,8
Rambleiere parțială	0,5—0,6
Rambleiere totală executată cu mașini de rambleiat	0,4—0,5
Rambleiere totală pneumatică	0,25—0,30
Rambleiere hidraulică normală	0,1—0,12
Rambleiere hidraulică sub presiune	0,08—0,1
Exploatarea în camere cu rambleu hidraulic sub presiune și cimentare	0,02—0,08

Teoria King — Wardell. A fost elaborată pentru zăcămintele cu înclinare mică, grosime mică și medie, din bazinele miniere din Anglia, luîndu-se în considerare albii statice-simetrice de scufundare. Metoda de calcul face parte din grupa teoriilor geometrice.

Bazați pe numeroase măsurători topografice, autorii propun pentru curba de profil principal următoarea ecuație:

$$W_i = W_0 \cdot a \cdot \operatorname{tg} h \frac{b \cdot x}{H} \tag{7.9}$$

în care: W_i este scufundarea verticală într-un punct;

W_0 — scufundarea maximă;

a și b — constante care se determină în condițiile la limită și anume, că în punctele de inflexiune scufundarea reprezintă jumătate din scufundarea maximă (fig. XVI.142).

Astfel:

$$W = \pm \frac{1}{2} W_0 \tag{7.11}$$

pentru $x = \pm \infty$; $a = \frac{1}{2}$

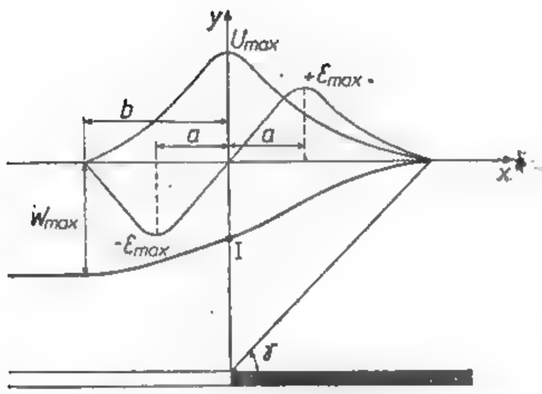


Fig. XVI.142. Calculul albiei de scufundare după *King-Wardel*.

A doua constantă se determină ţinînd cont de rezultatele măsurătorilor practice, după care înclinarea este maximă în punctul de inflexiune.

Deci dacă:

$$\left(\frac{dW}{dx}\right)_{max} = \frac{b W_0}{2\ H} = \frac{3W_0}{H} \tag{7.10}$$

Ţinînd cont de valoarea constantei $a = \frac{1}{2}$, atunci $b = 6$. În final ecuaţia care defineşte curba de profil principal are forma

$$W = \frac{W_0}{2} \operatorname{tg} h \frac{6x}{H} \tag{7.11}$$

Scufundarea maximă, W_0, se calculează cu relaţia:

$$W_0 = a \cdot m \quad [\mathrm{m}] \tag{7.12}$$

în care m este grosimea stratului ce se exploatează, m;
a — coeficient funcţie de sistemul de dirijare a presiunii în abataj (valorile vor fi date în cadrul teoriilor Knothe-Budryk).

Metoda de calcul S. G. Averşin. Are la bază interpretarea geometrică a curbelor de deplasare şi deformare a suprafeţei terenurilor sub influenţa exploatării subterane, obţinute din măsurătorile topografice efectuate în bazinele Moscova şi Donbas. Autorul se situează cu teoria sa în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice. Albiile de scufundare

static-asimetrice sînt caracterizate prin deplasarea punctului de inflexiune a acestora spre spaţiul exploatat (fig. XVI. 143). Relaţiile de calcul date au la bază o exprimare geometrică a aliurii curbelor de deplasare şi deformare a suprafeţei terenurilor.

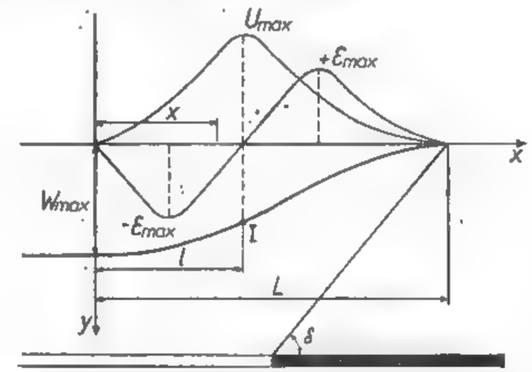


Fig. XVI.143. Profilul albiei de scufundare, după S. G. Averşin.

Pentru determinarea scufundării verticale a unui punct de la suprafaţa terenului se propune o relaţie de forma:

$$W(x) = W_{max} \left(1 - \frac{x}{2{,}13\ l}\right)^{4{,}54} \exp\left(2{,}13 \frac{x}{l}\right) \tag{7.13}$$

în care: l este distanţa de la punctul cu deplasarea verticală maximă pînă la punctul de inflexiune al albiei de scufundare;
x — punctul de la suprafaţă pentru care se cere calculul deplasărilor verticale;
H — adîncimea de exploatare a stratului;
W_{max} — scufundarea verticală maximă, pentru care se recomandă folosirea relaţiei:

$$W_{max} = \frac{m \cdot a}{a + \sqrt{H}} \quad [\mathrm{m}] \tag{7.14}$$

în care: m este grosimea stratului care se exploatează, m;
a — coeficient care reflectă latura fizică a condiţiilor de tasare, avînd valori cuprinse între 22 şi 25.

Pe baza relaţiei (7.13) şi luînd în considerare dependenţa matematică între curbele de deplasare şi deformare, se determină valoarea maximă a curbei înclinării:

$$T_{max} = 0{,}9 \frac{W_{max}}{l} \quad [\mathrm{mm/m}] \tag{7.15}$$

şi va apre în punctul de inflexiune al albiei de scufundare.

Valoarea maximă a curbei curburii albiei de scufundare se calculează cu relaţia:

$$K_{max} = 1{,}39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [\mathrm{km}^{-1}] \tag{7.16}$$

şi aceasta apare la distanţa $1{,}5\ l$ de la mijlocul albiei de scufundare.

După *Averşin*, pentru strate orizontale şi cu înclinare mică, între curba înclinării şi curba deplasărilor orizontale există o dependenţă dată de relaţia (7.1). Deplasările orizontale maxime se pot atunci calcula cu relaţia:

$$U_{max} = B(y)\, T_{max} = B(y)\, 0{,}9 \frac{W_{max}}{l} \quad [\text{mm}] \tag{7.17}$$

Ţinînd seama de relaţia (7.2), deformaţiile specifice orizontale maxime (de compresiune şi tracţiune) se determină cu relaţia:

$$\varepsilon_{max} = B(y)\ 1{,}39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [\text{mm/m}] \tag{7.18}$$

în care $B(y)$ este o funcţie dependentă de adîncimea de exploatare şi reprezintă un parametru care exprimă distanţa de la suprafaţă pînă la punctul din interiorul masivului de roci care nu suferă deformări, mai precis grosimea pachetului de roci din masiv de la suprafaţă spre interior, care se deforează fără desprinderea după planele de stratificaţie.

Pentru condiţiile de zăcămînt din bazinele miniere Moscova şi Donbas, valoarea lui $B(y)$ este cuprinsă între 10—20 m şi este funcţie de adîncimea de exploatare.

Pentru alte condiţii de exploatare, $B(y)$ poate ti calculat cu relaţia:

$$B(y) = \frac{\dfrac{dU}{dt}}{\dfrac{d^2 W}{dx \cdot dt}} \tag{7.19}$$

în care: $\dfrac{dU}{dt}$ este viteza de variaţie a deplasărilor orizontae;

$\dfrac{d^2 W}{dx \cdot dt}$ — viteza de variaţie a înclinării albiei de scufundare.

Pentru strate orizontale şi cu înclinare mică *Aversin* stabileşte o relaţie de legătură între distanţa l şi L, semilungimea albiei de scufundare (fig. XVI. 143):

$$L = 2{,}13\ l \tag{7.20}$$

Valoarea parametrului l poate fi calculată cu relaţia generalizată

$$l = \frac{W_{max}}{m} \cdot x \quad [\text{m}] \tag{7.21}$$

sau cu relaţia:

$$l = 0{,}7H \quad [\text{m}] \tag{7.22}$$

Teoria lui Martos. Pe baza numeroaselor măsurători topografice efectuate în bazinele miniere din Ungaria şi a experienţelor pe modele din materiale echivalente, *Martos* ajunge la concluzia că se situează în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice

(fig. XVI. 144). În cazul stratelor orizontale şi de înclinare mică, curba de profil principal a albiei de scufundare se poate exprima în mod satisfăcător, pentru nevoile practice, prin curba de probabilitate *Gauss* de forma:

$$W(x) = W_0 \cdot e^{-ax^2} \tag{7.23}$$

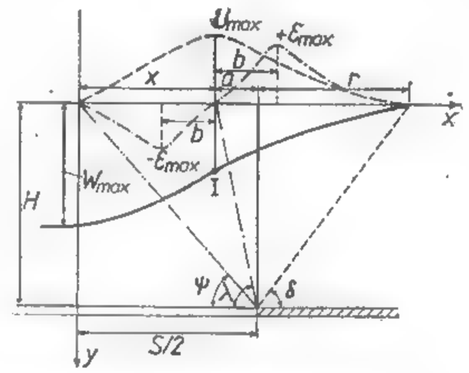


Fig. XVI.144. Profilul albiei de scufundare şi calculul parametrilor după *Martoş*.

Exponentul a se determină din condiţia că punctul de inflexiune al albiei de scufundare să se afle în punctul $x = \pm i$, adică:

$$\left(\frac{d^2 W}{dx^2}\right)_x = \pm\ 2aW_0\ e^{-ax^2}(1 - 2ax^2) \tag{7.24}$$

Punînd condiţia ca relaţia (7.24) să fie egală cu zero, se obţine:

$$a = \frac{1}{2\,i^2} \tag{7.25}$$

În acest caz relaţia (7.23) are forma finală:

$$W = W_0 \exp.\left(-\frac{x^2}{2\,i^2}\right) \tag{7.26}$$

Scufundarea maximă W_0, propune autorul, să fie determinată prin relaţia (7.14) dată de Averşin.

Din relaţia (7.26), pe baza dependenţelor între curbele de deplasare şi deformare a suprafeţei terenurilor şi a relaţiilor (7.1 şi 7.2) pot fi stabiliţi şi ceilalţi parametri ai scufundării.

Teoria Knothe-Budryk. Este prima teorie care a încercat să lege fenomenul de scufundare-tasare a terenurilor sub influenţa exploatării subterane, de deplasarea şi deformarea întregului masiv de roci în mişcarea sa spre spaţiul exploatat. Pentru prima dată se reuşeşte să se dea o legătură între mişcarea suprafeţei terenului şi fenomenul de manifestare a presiunii în abataj. Rezolvarea problemei influenţei exploatării subterane asupra suprafeţei de la zi în concepţia lui *Knothe* are la bază *curba de influenţă* (fig. XVI. 145).

Se consideră că punctul A, situat la suprafaţa terenului, este supus mişcării datorită exploatării unui strat pe o suprafaţă S, de grosime m şi care se află la adîncimea H.

Împărţind suprafaţa exploatată S, în suprafeţe elementare ΔS, acestea vor produce asupra punctului A o scufundare, a cărui componentă verticală W_i va fi dată de o funcţie oarecare:

$$\Delta W_i = \Delta S_i \, g(x_i, y_i) \tag{7.27}$$

unde: $g(x, y)$ este o anumită funcţie ce descrie mişcarea punctului A spre spaţiul exploatat; x_i, y_i sînt coordonatele punctului în sistemul de axe acceptate.

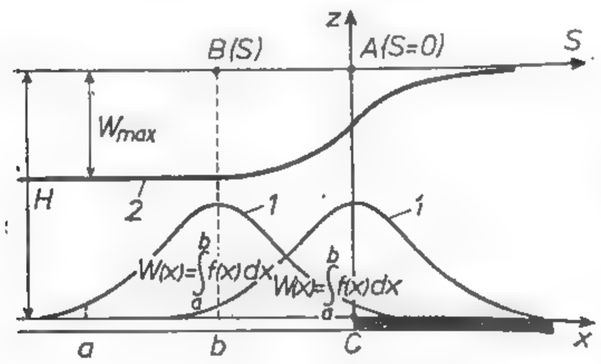


Fig. XVI.145. Curba albiei de scufundare, ca rezultat al curbei de influenţă, după *Knothe-Budryk*:
1 — curba de influenţă; 2 — albia de scufundare.

Pe baza legii superpoziţiei, scufundarea totală a punctului A, din momentul $t=0$ şi pînă la timpul t', adică pînă în momentul extragerii succesive a suprafeţelor elementare S_i pe întreaga suprafaţă S este dată de:

$$\sum_{i=1}^{n} g(x_i, y_i) \, S_i \tag{7.28}$$

Cînd suprafeţele elementare S tind către zero, scufundarea totală va fi:

$$W_{max} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \, dx \cdot dy \tag{7.29}$$

Tratînd în continuare problema în plan şi orientînd abatajul cu lungimea sa infinită, paralelă cu axa y (fig. XVI. 145), analog cu funcţia $g(x,y)$ trebuie să existe o funcţie $f(x)$ care să descrie mişcarea punctului A,

Funcţia $f(x)$ trebuie să aibă o astfel de proprietate, încît punctul A de pe suprafaţa terenului să fie supus unei influenţe cu atît mai mari, cu cît abatajul se apropie mai mult de proiecţia orizontală a punctului A, după care influenţa spaţiului exploatat scade. Dacă abatajul avansează din punctul a în punctul b (fig. XVI. 145), scufundarea punctului va fi:

$$W_i = -\int_a^b f(x) \, dx \tag{7.30}$$

Funcţia $f(x)$ a fost denumită *funcţia de influenţă principală* ce descrie mişcarea unui punct din masivul de roci (implicit de la suprafaţa terenului) spre spaţiul exploatat.

Stratul de cărbune exploatîndu-se pe o suprafaţă foarte mare în limitele $+\infty$, $-\infty$, scufundarea verticală maximă a punctului A poate fi dată de relaţia:

$$W_{max} = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \, dx \tag{7.31}$$

Dependenţa dintre curba de influenţă şi profilul albiei de scufundare. Se consideră că frontul de exploatare a unui strat la adîncimea H se deplasează de la $-\infty$ pînă la o anumită limită, unde se acceptă originea axelor de coordonate (fig. XVI. 145). Abscisa unui punct în sistemul de coordonate adoptat se notează la suprafaţă prin S, iar în planul stratului prin x. Mişcarea unui punct oarecare B, de coordonată S, de la suprafaţa terenului, este descrisă de funcţia de influenţă $f(x-s)$, ce prezintă o axă de simetrie în punctul $x=s$. Această curbă se obţine prin deplasarea succesivă a curbei descrisă de ecuaţia $f(x)$, ce corespunde punctului $A(s=0)$ situat deasupra marginii frontului de abataj (7.14). Scufundarea totală a unui punct oarecare de la suprafaţă, ca efect al exploatării unui strat în limitele de la $x=-\infty$ la $x=0$, conform relaţiei (7.29) va fi:

$$W_k(s) = -\int_{-\infty}^{0} f(x-s) \, dx \tag{7.32}$$

După cum se vede din figură,

$$W_k(s) = -\int_{-s}^{\infty} f(x) \, dx \tag{7.33}$$

Ultima relaţie exprimă legătura dintre *curba de influenţă* şi mişcarea unui punct de la suprafaţă situat deasupra marginii frontului de abataj, avînd coordonatele $s=0$.

Ecuaţia profilului albiei de scufundare va avea în acest caz următoarea formă:

$$F(x) = H - \int_{x}^{\infty} f(\lambda) \, d\lambda \tag{7.34}$$

Raportînd ecuaţia profilului albiei de scufundare la sistemul de axe O, x, în planul stratului putem scrie:

$$F(x) = -\int_{x}^{\infty} f(\lambda) \, d\lambda \tag{7.35}$$

Integrînd expresia (7.35) se obţine:

$$F(x) = -f(x) \tag{7.36}$$

De unde rezultă:

„Curba de influență corespunde punctului situat deasupra marginii frontului de exploatare și reprezintă derivata ecuației albiei de scufundare, ultima formată, denumită *albie de scufundare statică simetrică*"[1].

Avînd la bază suportul teoretic prezentat, și pe baza analizei unei multitudini de profile ale albiei de scufundare obținute din măsurători topografice în bazinul Sileziei, autorii au ajuns la concluzia că linia profilului albiei de scufundare poate fi descrisă de ecuația integrală a funcției de probabilitate *Gauss*, de forma:

$$f(x) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-h^2, x^2) \qquad (7.37)$$

Ecuația (7.35) permite în continuare să se analizeze profilul albiei de scufundare static-simetrică. Înlocuind curba de influență printr-un triunghi, se observă că suprafața acestuia este egală cu scufundarea maximă W_{max}, iar înălțimea are valoarea maximului curbei de influență (fig. XVI. 146).

$$f(0) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \qquad (6.37)$$

Această înlocuire a curbei de influență, cu un triunghi, limitează mișcarea suprafeței terenului pînă la o anumită distanță r, egală cu jumătatea bazei triunghiului.

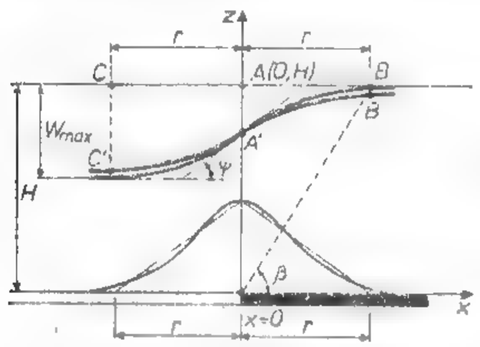


Fig. XVI.146. Linia profilului albiei de scufundare dedusă pe baza triunghiului de influență.

În această situație, punctul B situat la dreapta marginii frontului de abataj va avea scufundarea verticală nulă, iar punctul C, simetric situat la stînga, va avea scufundarea verticală egală cu W_{max} (fig. XVI. 146). Scufundarea verticală a unui punct în intervalul C, B se calculează cu relația:

$$W_k = -\int_r^{\infty} W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2} \, dx \qquad (7.39)$$

1) Pentru prima dată în literatura de specialitate, prin metodologia de rezolvare dată, *Knothe* a introdus noțiunea de *albie de scufundare statică-simetrică*. Albia de scufundare statică-simetrică este acea albie în care cele două ramuri în raport cu marginea frontului de abataj au o dezvoltare egală, iar scufundarea în punctul de inflexiune reprezintă jumătate din scufundarea maximă. De la introducerea acestor noțiuni se consideră începutul rezolvărilor riguros matematice a problemei de scufundare a terenului supus influenței exploatării subterane, date de diferiți autori.

Valoarea parametrului h se determină din condiția că suprafața triunghiului de influență este egală cu scufundarea verticală, W_{max}.

Ținînd seama de relația (7.37), suprafața triunghiului de influență va fi:

$$\frac{1}{2} \, 2 \, r \, W_{max} \cdot \frac{h}{\sqrt{\pi}} = W_{max} \qquad (7.40)$$

de unde:

$$r = \frac{\sqrt{\pi}}{h} \text{ și } h = \frac{\sqrt{\pi}}{r} \qquad (7.41)$$

Introducînd în relația (7.37) valoarea parametrilor h, ecuația curbei albiei de scufundare devine:

$$f(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi}{r^2} x^2\right) \qquad (7.42)$$

unde: r este denumit *parametrul razei principale de influență a deplasării și deformării suprafeței* și se calculează cu relația:

$$r = \frac{H}{\operatorname{tg} \beta_s}, \qquad r = \frac{H}{\operatorname{tg} \gamma_s} \text{ sau } r = \frac{H}{\operatorname{tg} \delta_s} \qquad (7.43)$$

în care: β_s, γ_s δ_s sînt valorile unghiurilor de scufundare[1].

Pe baza celor de mai sus se poate scrie în final ecuația finală a curbei albiei de scufundare rezultată ca efect al exploatării unui strat în limitele de la $x = -\infty$ la $x = 0$ în forma:

$$F(x) = -\frac{W_{max}}{r} \int_x^{\infty} e^{-\frac{\pi}{r^2} y^2} \, d\lambda \qquad (7.44)$$

Relații de calcul a parametrilor scufundării conform teoriei Knothe — Budryk. Avînd la bază suportul teoretic prezentat, ecuația albiei de scufundare dată de relația (7.44) și dependența matematică ce există între curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenului, autorii au stabilit relații de calcul a parametrilor scufundării, pentru un punct, x aflat la suprafața terenului.

— scufundarea verticală într-un punct oarecare, $W(x)$:

$$W(x) = \frac{W_{max}}{r} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) dx \qquad (7.45)$$

1) Pentru bazinul Sileziei inferioare din Polonia se consideră că unghiurile de scufundare, transversale pe zăcămînt și după direcția zăcămîntului, sînt egale, adică $\beta_s = \gamma_s = \delta_s$.

— înclinarea curbei scufundării verticale,

$$T(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.46)$$

— curbura albiei de scufundare

$$K(x) = -\frac{2\pi W_{max}}{r^3} x \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.47)$$

— curba deplasărilor orizontale;

$$U(x) = 0{,}4 \; W_{max} \cdot \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.48)$$

— curba deformațiilor specifice orizontale,

$$\varepsilon(x) = \frac{2\pi}{r^2} U_{max} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.49)$$

Tabelul XVI.40

Valorile integralei și funcției exponențiale din teoria Knothe—Budryk

x	$\frac{1}{r}\int_x^{\infty} e^{-\frac{x^2}{r^2}} dx$	$e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$
$-1{,}0\ r$	0,9939	0,0432
$-0{,}8\ r$	0,9775	0,1340
$-0{,}6\ r$	0,9337	0,3230
$-0{,}4\ r$	0,8420	0,6065
$-0{,}2\ r$	0,6920	0,8869
± 0	0,5000	1,00
$0{,}2\ r$	0,3081	0,8869
$0{,}4\ r$	0,1581	0,6065
$0{,}6\ r$	0,0664	0,3230
$0{,}8\ r$	0,0225	0,1340
$1{,}0\ r$	0,0061	0,0432

Valoarea maximă a acestor parametrii, conform relațiilor (7.45), (7.49) și ținînd seama de relația (7.37), poate fi dedusă din expresiile:

— scufundarea maximă

$$W_{max} = a \cdot m \quad [\text{mm sau m}] \qquad (7.50)$$

— înclinarea maximă,

$$T_{max} = \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \qquad (7.51)$$

— deplasarea orizontală maximă

$$U_{max} = 0{,}4 \; W_{max} \quad [\text{mm}] \qquad (7.52)$$

— deformarea orizontală maximă

$$\varepsilon_{max} = \pm 0{,}6 \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \qquad (7.53)$$

— curbura maximă a albiei de scufundare

$$K_{max} = \pm 1{,}52 \frac{W_{max}}{H^2} \operatorname{tg}^2 \beta \qquad (7.54)$$

în care: m este grosimea stratului ce se exploatează,

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj, a-vînd valorile din tabelul XVI. 39.

Dacă se impune să se calculeze scufundarea unui punct oarecare, x, supus influenței exploatării subterane, pentru ușurința calculelor, în tabelul XVI. 40 sînt prezentate valorile integralei și funcției exponențiale ce însoțesc parametrii dați de relațiile (7.50) și (7.54).

În domeniul industriei extractive

AU MAI APĂRUT ÎN LIBRĂRII :

1. LUCIA TOCACI, M. GURAN, LIDIA MIHĂILESCU, P. ILIE, N. GOLCEA
Mineralurgie, vol. I

2. S. TAT, M. ZAPOROJAN, K. FISSGUS
Explozivi şi tehnica împuşcării în industrie

3. A. SIMIONESCU, I. DIJMĂRESCU
Organizarea şi conducerea activităţilor miniere

4. I. MARIAN
Mecanizarea transportului minier în subteran

5. L. PAVELESCU, I. ENE
Mineralogia şi geologia substanţelor radioactive

6. I. BERBELEAC
Zăcăminte de aur

— VOR APĂREA —

1. GH. DINCĂ R. CATILINA, T. BURTIC
Protecţia împotriva radiaţiilor nucleare la cercetarea, extracţia şi prelucrarea substanţelor minerale utile

2. V. ŞERBAN, GUŢ T.
Bismutul, arseniul şi stibiul

3. D. FODOR R. SCHWEIGHOFER
Valorificarea complexă a rocilor ornamentale

4. A. TODORESCU
Reologia rocilor cu aplicaţii în minerit

5. E. HUIDU, I. JESCU
Cartea minerului de la exploatări la zi

6. M. GEORGESCU
Optimizarea metodelor de exploatare a zăcămintelor de minereuri

7. S. PAULIUC, C. DINU
Geologie structurală

8. O. CLICHICI, SL. STOICI
Cercetarea geologică a substanţelor minerale utile solide
Îndrumător practic

9. D. GIUŞCĂ
Mineralogie structurală

10. M. MURGU
Evaluarea geologică şi industrială a zăcămintelor minerale

11. I. PETRESCU (coordonator)
Geologia zăcămintelor de cărbuni, vol. I

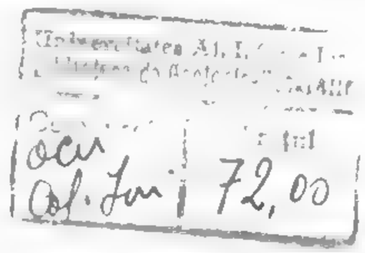
12. V. BRANA, C. AVRAMESCU, I. CĂLUGĂRU
Substanţe minerale nemetalifere

13. A. POPA (coordonator)
Manualul inginerului de mine, vol. III

Din cuprinsul

MANUALULUI INGINERULUI DE MINE, Vol. III

Procedee de extragere ; Explozivi minieri ; Săparea şi susţinerea lucrărilor miniere ; Exploatarea zăcămintelor prin lucrări miniere la zi.



MANUALUL INGINERULUI DE MINE

* *

EDITURA TEHNICĂ

Acest al II-lea volum al Manualului inginerului de mine cuprinde următoarele secțiuni:

X. Prospecțiunea (geologică, geofizică, geochimică); XI. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile (prin lucrări miniere, foraje și combinat); XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile; XIII. Carotajul geofizic; XIV. Evaluarea rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile; XV. Topografie minieră și fotogrammetrie terestră; XVI. Mecanica rocilor

Se adresează cadrelor tehnice (ingineri, geologi, subingineri tehnicieni, maiștri) care activează în domeniile cercetării geologice (prospecțiuni și exploatări), explaotării și preparării substanțelor minerale utile solide, constituind totodată un material ajutător pentru studenții facultăților de mine și geologie.

MANUALUL INGINERULUI DE MINE

Coordonator:

Dr. docent ing. **ARON POPA**

Profesor universitar emerit

173966
B.C.U. - IASI

EDITURA TEHNICĂ
București — 1985

Colectivul de autori:

Prof. dr. docent, ing. **RADU BOTEZATU**
Membru corespondent al Academiei R.S. România
Prof. dr. docent, ing. **ARON POPA**
Prof. dr. docent **GRATIAN CIOFLICA**
Prof. dr. ing. **NICOLAE DIMA**
Conf. dr. ing. **CORNEL HIRIAN**
Conf. dr. ing. **GHEORGHE ONCIOIU**
Şef lucrări, dr. ing. **AURELIAN NEGUŢ**
Şef lucrări, dr. ing. **IONIŢĂ PĂDURE**
Şef lucrări, dr. ing. **ADRIAN TODORESCU**
Şef lucrări ing. **STANCA NICULESCU**
Lector dr. **OVIDIU DRAGASTAN**
Lector dr. **IOAN MĂLDĂRESCU**
Lector **IOSIF DRĂGHICI**
Dr. ing. **IULIU SILAŞ**
Ing. **VIOREL VIERESCU**
Ing. **FILOMENOS SAVIN**
Ing. **VIOREL BRÂNDA**

43.313
M-1241

Redactor: ing. MARIANA CHEPTEA
Tehnoredactor: ELLY GORUN
Coperta: ŞTEFAN PĂRĂU

Bun de tipar: 6.09.1985 Coli de tipar: 48,5 C.Z.: 6220039,

I. P. Informaţia str. Bucureşti nr. 23–25

Cuprins

X. PROSPECŢIUNEA

1. *Prospecţiunea geologică* 13
   1.1. Premise geologice fundamentale . . . 13
      1.1.1. Premise structurale 14
      1.1.2. Premise magmatice 17
      1.1.3. Premise litostratigrafice 22
      1.1.4. Premise paleogeografice 23
      1.1.5. Premise metamorfice 25
      1.1.6. Premise geochimice 26
   1.2. Indicatori în prospecţiunea geologică 29
      1.2.1. Indicatori naturali 29
      1.2.2. Indicatori provenind din alte surse 36
   1.3. Metode geologice de prospecţiune . . . 40
      1.3.1. Prospecţiunea prin cartare geologică pe baza deschiderilor naturale şi artificiale . . . 40
      1.3.2. Prospecţiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor de minerale utile 42
      1.3.3. Prospecţiunea prin cartare geologică pe baza concentraţiilor de minerale utile . . . 43

2. *Prospecţiunea geofizică* 46
   2.1. Posibilităţi şi metode fizico-geologice şi economice de [illegible] a prospecţiunilor geofizice 49
   2.2. Principiile şi metodele fizice şi principalele probleme de geologie [illegible] 59
      2.2.1. Prospecţiunea gromagnetică . . . 59
      2.2.2. Prospecţiunea gravimetrică 61
      2.2.3. Prospecţiunea electrometrică 63
      2.2.4. Prospecţiunea radiometrică 68
      2.2.5. Prospecţiunea seismometrică . . 68
      2.2.6. Prospecţiunea geotermică 71
      2.2.7. Teledetecţia 72
      2.2.8. Cercetări geofizice în subteran 73
   2.3. Interpretarea [illegible] a informaţiilor geofizice cu [illegible] de acumulări de substanţe minerale solide 75
      2.3.1. Mineralizaţii de metale feroase 76
      2.3.2. Mineralizaţii de metale neferoase 80
      2.3.3. Mineralizaţii auro-argentifere . 86
      2.3.4. Mineralizaţii de elemente radioactive, rare şi disperse 88
      2.3.5. Acumulări de substanţe nemetalifere şi roci utile 90
      2.3.6. Zăcăminte de cărbuni şi roci combustibile 92
      2.3.7. Zăcăminte de sare şi săruri de potasiu şi magneziu . . 93

3. *Prospecţiunea geochimică* . . . 95
   3.1. Prospecţiunea litogeochimică . . . 96
   3.2. Prospecţiunea pedogeochimică . . 97
   3.3. Prospecţiunea hidrogeochimică . . 100
   3.4. Prospecţiunea atmogeochimică 101
   3.5. Prospecţiunea biogeochimică 102

XI. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANŢE MINERALE UTILE

1. *Obiectivele şi clasificarea lucrărilor la întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare* . . 114
   1.1. Obiectivele explorării . 114
   1.2. Clasificarea lucrărilor de explorare 114
   1.3. Întocmirea proiectelor lucrărilor de explorare . 117

Explorarea prin lucrări miniere 118
   2.1. Criterii de proiectare a lucrărilor miniere de explorare 118
   2.2. Tipuri şi secţiuni de lucrări miniere de explorare . 119
      2.2.1. Şanţuri şi tranşee de explorare 123
      2.2.2. Puţuri de mină (şurfuri) . 129
      2.2.3. Puţuri de explorare 137
      2.2.4. Galerii de explorare . 141
      2.2.5. Plane înclinate de explorare . 159
      2.2.6. Suitori şi coborîtori de explorare 161

3. *Explorarea prin foraje* 163
   3.1. Condiţii de aplicare a forajului în explorarea zăcămintelor . 163
   3.2. Date generale asupra forajului . 165
   3.3. Săparea găurii de sondă. Sape şi carotiere 166
      3.3.1. Sape folosite în forajul cu sondeze 166
      3.3.2. Carotiere folosite în forajul cu sondeze 173
      3.3.3. Coroane [illegible] de carotieră 177
   3.4. Spălarea găurii de sondă. Fluidul de foraj 190

3.4.1. Rolul și proprietățile fluidului de foraj 190
3.4.2. Pregătirea noroiului de foraj 196
3.4.3. Curățirea noroiului de foraj, stabilirea debitului și presiunii de circulație 199
3.5. Operații de manevră și material tubular 200
3.5.1. Prăjini de foraj 200
3.5.2. Scule și dispozitive de manevră pentru prăjini și burlane . . . 210
3.6. Tubarea și cimentarea găurilor de sondă 220
3.6.1. Tubarea 220
3.6.2. Cimentarea 224
3.7. Dificultăți și accidente în forajul cu sondeze 226
3.7.1. Devierea găurilor de sondă 226
3.7.2. Pierderi de circulație 229
3.7.3. Accidente de foraj 230
3.8. Instalații de foraj — sondeze mecanice 238
3.8.1. Instalații pentru foraj de explorare fabricate în România . . 240
3.8.1.1. Instalația de foraj SG-650 M 240
3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150 . . 244
3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8 246
3.8.1.4. Instalația de foraj FG-5 249
3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M 252
3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D . . 254
3.8.2. Alte tipuri de instalații de foraj 256
3.8.2.1. Instalația de foraj . . SBA-500 . 256
3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM 258
3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM . . . 259
3.8.2.4. Instalația de foraj BSK 260
3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200 . . . 261
3.8.2.6. Instalația de foraj GP-1 pentru subteran . . . 262
3.8.2.7. Instalația de foraj DIA MEC-250 . . . 262
3.8.2.8. Instalația de foraj hongyer 34 264
3.9. Instalații de suprafață și anexe . . 264
3.10. Indicatori tehnico-economici ai activității de foraj 267
3.11. Documentarea geologică a forajelor de de explorare 269

4. *Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile* 272

4.1. Explorarea zăcămintelor de minereuri 272
4.1.1. Explorarea zăcămintelor de fier și de mangan 273
4.1.2. Explorarea zăcămintelor de plumb și zinc . . 274
4.1.3. Explorarea zăcămintelor de cupru 275
4.1.4. Explorarea zăcămintelor de aur și argint 276
4.1.5. Explorarea zăcămintelor de bauxite și de aluminiu 277
4.1.6. Explorarea zăcămintelor de metale rare . . 278
4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente . . 278
4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale . . . 281
4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive 283
4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa platinei 283
4.2. Explorarea zăcămintelor de cărbuni 283
4.2.1. Clasificarea zăcămintelor de cărbuni din punctul de vedere al explorării 284
4.2.2. Caracteristicile generale ale explorării zăcămintelor de cărbuni 284
4.2.3. Fazele și specificul explorării zăcămintelor de cărbuni 285
4.2.4. Exemple de explorare a zăcămintelor de cărbuni . . . 286
4.3. Explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile nemetalifere și de roci utile 289
4.3.1. Explorarea zăcămintelor de gips și anhidrit 290
4.3.2. Explorarea zăcămintelor de sare gemă și de săruri de potasiu . . 291
4.3.3. Explorarea zăcămintelor de fosforite 293
4.3.4. Explorarea zăcămintelor de calcită, celestină, baritină și fluorină 293
4.3.5. Explorarea zăcămintelor de feldspat, mică și cuarț 294
4.3.6. Explorarea zăcămintelor de serpentină, talc și magnezit 295
4.3.7. Explorarea zăcămintelor de caolin, andaluzit și silimanit 296
4.3.8. Explorarea zăcămintelor de azbest și corindon 296
4.3.9. Explorarea rocilor carbonatice (calcare, dolomite, magnezite) 297
4.3.10. Explorarea silicaților aluminoși 298
4.3.11. Explorarea marnelor . . . 299
4.3.12. Explorarea rocilor silicioase 299
4.3.13. Explorarea nisipurilor și pietrișurilor (agregatelor) 300
4.3.14. Explorarea rocilor de construcții 301

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

1. *Principii de baza* 304
1.1. Condițiile unei probări corecte a zăcămintelor de substanțe minerale utile 304
1.1.1. Obiectivitatea și reprezentativitatea probării 305
1.1.2. Operativitatea și productivitatea probării 306
2. *Tipurile principale de probare utilizate în lucrările de explorare* 306
2.1. Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice (probarea mineralogică) 307

2.2. Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice . . . 310
2.3. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnice 319
2.4. Probarea pentru determinarea caracteristicilor tehnologice . 321

3. *Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu lucrări miniere* 324
3.1. Probarea în șanțuri și tranșee de explorare 324
3.2. Probarea în puțuri de mină, puțuri de explorare, suitori și coboritori . 327
3.3. Probarea în galerii și plane înclinate 331

4. *Metodica probării zăcămintelor de substanțe minerale utile explorate cu foraje* 337
4.1. Probarea în cazul explorării prin foraje cu carotaj mecanic 338
4.2. Probarea în cazul folosirii în explorare a forajului mecanic percutant 343
4.3. Probarea în cazul folosirii forajului manual, semimecanic, rotativ și rotativ-percutant în explorarea geologică 344

5. *Prelucrarea probelor geologice pentru determinarea conținutului în componenți utili și dăunători* 345

XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC

1. *Principii de bază ale metodelor de carotaj geofizic aplicate în geologia minieră* 351
1.1. Carotajul de rezistivitate aparentă 351
1.1.1. Carotajul obișnuit (standard) . 352
1.1.2. Carotajul cu curenți focalizați 353
1.1.3. Carotajul inductiv 353
1.1.4. Metoda carotajului de curent 354
1.1.5. Carotajul electric cu microdispozitive sau microcarotajul . . 355
1.1.6. Electrometrie de sondă în curent continu 355
1.2. Carotajul potențialelor naturale sau spontane 357
1.3. Carotajul potențialelor provocate . 358
1.4. Carotajul radioactiv . . . 358
1.4.1. Carotajul radiației gama naturale 358
1.4.2. Carotajul radiației gama dispersate 359
1.4.3. Carotajul neutron-gama 360
1.4.4. Carotajul neutron-neutronic . 361
1.4.5. Carotajul fotoneutronic . . . 362
1.4.6. Carotajul activării neutronice 362
1.4.7. Carotajul fluorescenței X 363
1.4.8. Spectrometria radiațiilor gama în carotaj 364
1.5. Carotajul acustic 364
1.6. Carotajul magnetic 365
1.7. Cavernometria 366

2. *Utilizarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea zăcămintelor de substanțe minerale utile solide* 367
2.1. Mineralizații de metale feroase . . . 367
2.2. Mineralizații de metale neferoase și auro-argentifere 373
2.3. Mineralizații de elemente radioactive, rare și disperse 374
2.4. Acumulări de substanțe nemetalifere și roci utile 376
2.5. Cărbuni și roci combustibile . . 379
2.5.1. Cărbuni 379
2.5.2. Șisturi bituminoase . 386

XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

1. *Principii generale* . 390

2. *Clasificarea rezervelor geologice* . . . 391
2.1. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de cunoaștere . 391
2.2. Clasificarea rezervelor geologice după gradul de pregătire 394
2.3. Clasificarea rezervelor geologice după posibilități de valorificare . 394
2.3.1. Condițiile distrofice ale zăcămintelor 394

3. *Parametrii de calcul ai rezervelor* . 396
3.1. Parametrii pentru calculul cantitativ al rezervelor . . . 396
3.2. Stabilirea caracteristicilor calitative ale rezervelor 398
3.3. Stabilirea condițiilor de zăcământ . . 403

4. *Metode de calcul al rezervelor* . . 405
4.1. Metoda blocurilor geologice . 406
4.2. Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare . . 409
4.3. Metoda secțiunilor . . 415
4.4. Metoda poligoanelor . . 421
4.5. Metoda triunghiurilor . . . 422

5. *Metode statistice-matematice și geostatistice în estimarea parametrilor de calcul ai rezervelor* 424
5.1. Metode statistice-matematice . . . 424
5.1.1. Stabilirea valorii medii a parametrilor de calcul și a legii de distribuție statistică a acestora 424
5.1.2. Utilizarea analizei de corelație în estimarea conținutului rezervelor 426
5.2. Metoda geostatistică 427
5.2.1. Funcțiile semivariogramă și covariogramă 428
5.2.2. Variabile regionalizate staționare. Principalele caracteristici ale mineralizației puse în evidență de semivariograma . . 428
5.2.3. Calculul semivariogramei experimentale 430
5.2.4. Modelarea semivariogramei experimentale 432
5.2.4.1. Mineralizații izotrope . . 433
5.2.4.2. Mineralizații anizotrope 436
5.2.5. Metoda Krige. Determinarea estimatorului optim și a variantei erorii de estimare 438

5.2.6. Intervalul de încredere al cantităţii şi calităţii rezervelor. Gradul de precizie al valorilor estimate 439

XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ŞI FOTOGRAMMETRIE

1. *Teoria erorilor de măsurare* 445
1.1. Clasificarea măsurătorilor . . . 445
1.2. Măsurători directe de aceeaşi precizie 446
1.3. Măsurători directe de precizii diferite 447
1.4. Măsurători indirecte de aceeaşi precizie 448
1.5. Măsurători indirecte de precizii diferite 452
1.6. Măsurători condiţionate de aceeaşi precizie 452
1.7. Măsurători condiţionate de precizii diferite 453
2. *Măsurarea mărimilor topografice* . 454
2.1. Măsurarea unghiurilor 454
2.1.1. Instrumente de măsurarea unghiurilor 454
2.1.2. Metode de măsurare a unghiurilor orizontale 455
2.1.3. Măsurarea unghiurilor verticale 456
2.2. Măsurarea directă a distanţelor . . 456
2.2.1. Instrumente pentru măsurarea directă a distanţelor . . . 456
2.2.2. Măsurarea directă a lungimilor cu panglica . . . 457
2.2.3. Corecţii aplicate lungimilor măsurate cu benzi de oţel . 458
2.3. Măsurarea indirectă a distanţelor 459
2.3.1. Metoda optică . . . 459
2.3.2. Măsurarea electrooptică şi electromagnetică a distanţelor 460
2.4. Instrumente de măsurare directă a unghiurilor 461
2.4.1. Instrumente de nivelment geometric cu lunetă 461
2.4.2. Instrumente de nivelment cu compensator . . . 462
3. *Lucrări topografice la suprafaţă* . 462
3.1. Elemente de geodezie şi cartografie 462
3.1.1. Forma şi dimensiunile Pământului 462
3.1.2. Suprafeţe de referinţă . . 463
3.1.3. Coordonate plane Gauss-Kruger 464
3.1.4. Coordonate plane stereografice 466
3.2. Triangulaţia 467
3.2.1. Reţeaua triangulaţiei de stat 467
3.2.2. Realizarea reţelei triangulaţiei de stat 467
3.2.3. Importanţa şi caracterul reţelei de triangulaţie . . . 468
3.2.4. Verificarea reţelelor de triangulaţie 469
3.2.5. Dezvoltarea reţelelor de triangulaţie . 472
3.3. Trilateraţia 476
3.3.1. Compensarea laturilor în reţelele de trilateraţie . . 476
3.3.2. Calculul coordonatelor în reţelele de trilateraţie . . . 478
3.3.3. Dezvoltarea reţelelor de trilateraţie 479
3.4. Poligonometria 480
3.4.1. Realizarea traseelor şi reţelelor poligonometrice 480
3.4.2. Condiţii de aplicare. Avantaje şi dezavantaje 481
3.4.3. Rezolvarea traseelor şi reţelelor poligonometrice . . . 481
3.5. Nivelment 483
3.5.1. Suprafaţă de nivel zero. Suprafeţe de nivel. Altitudini . 483
3.5.2. Corecţii de nivelment . . 484
3.5.3. Felurile nivelmentului . 484
4. *Lucrări de topografie minieră* . . . 485
4.1. Planimetrie subterană 485
4.1.1. Transmiteri de coordonate şi orientări în subteran . . 485
4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă 486
4.1.1.2. Legătura pe două puţuri verticale de mină . 487
4.1.1.3. Legătura pe un singur puţ vertical de mină 488
4.1.2. Proiectarea coordonatelor şi orientării pe lucrări miniere verticale 492
4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor 493
4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării 495
4.1.3. Drumuiri planimetrice subterane 497
4.1.1.3. Poligonaţia cu două capete . . . 497
4.1.3.2. Poligonaţia cu cap de sprijin şi un punct de închidere . . 500
4.1.3.3. Poligonaţia minieră . 500
4.1.3.4. Poligonaţia flotantă . 503
4.1.3.5. Reţea planimetrică nodală . 506
4.1.3.6. Reţea planimetrică acolată 508
4.2. Nivelment subteran . . . 512
4.2.1. Transmiterea cotelor în subteran 512
4.2.2. Metode de nivelment subteran 515
4.2.3. Trasee nivelitice subterane . . 517
4.3. Ridicarea de detalii subterane . 523
4.3.1. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale . . 523
4.3.2. Ridicarea de detalii în lucrări miniere verticale . 524
4.3.3. Recepţia şi evidenţa lucrărilor miniere în săpare 527
4.3.4. Recepţia şi evidenţa producţiei realizate în abataje . . 528
4.3.5. Evaluarea producţiei realizate în cariere . . . 530
4.4. Străpungeri miniere . . 532
4.4.1. Străpungerea între două puncte topografice . . 532
4.4.2. Racordarea aliniamentelor 535
4.4.3. Probleme de topografie minieră 538
4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie . . . 539
4.4.3.2. Intersecţia dintre o galerie şi un zăcământ 540
4.4.3.3. Intersecţia dintre o falie şi un zăcământ . . . 542
4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute . . . 544

[illegible] 545
4.5.1. [illegible] topografice de [illegible] 545
4.5.2. [illegible] 547
4.5.3. [illegible] 548
5. *Fotogrammetria terestră* 550
5.1. Definiţia şi scopul fotogrammetriei terestre 550
5.2. Bazele geometrice ale fotogramelor 551
5.2.1. Fotograma ca proiecţie centrală 551
5.2.2. Elementele proiecţiei centrale 552
5.2.3. Sisteme de coordonate utilizate în fotogrammetrie 553
5.2.4. Elementele de orientare a fotogramelor . . . 554
5.2.5. Relaţiile analitice ale fotogrammetriei terestre 555
5.3. Vederea stereoscopică . . . 557
5.3.1. Vederea bioculară naturală 557
5.3.2. Vederea stereoscopică artificială 558
5.4. Aparatura de fotogrametrie . . 561
5.5. Metodele fotogrammetriei terestre 568
5.5.1. Fotogrammetria cu o imagine 568
5.5.2. Fotogrammetria cu două imagini 571
5.5.3. Fotogrammetria paralactică cu bază mare . . 576
5.6. Aparate de restituţie folosite în fotogrammetria terestră 577
5.6.1. Aparate de restituţie analogică 577
5.6.2. Aparate de restituţie numerică 579
5.6.3. Aparate de restituţie analitică 579
5.6.4. Aparate cu proiecţie fotografică 580
5.7. Fotogrammetria determinarea coordonatelor punctelor pe teren . . 580
5.7.1. Determinarea erorilor 580
5.7.2. Corecţia erorilor . 581
5.7.3. Etapele calcularea coordonatelor [illegible] XY în sistemul geodezic X,Y 583
5.8. Lucrări de teren la fotogrammetria terestră . . . 583
5.8.1. [illegible] 584
5.8.2. Reperajul fotogrammetric 585
5.8.3. Legătura punctelor de capăt de [illegible] fotogrammetrice [illegible] la reţeaua [illegible] 586
5.9. Recunoaşterea unor probleme topografice prin metode fotogrammetrice 587
5.9.1. Măsurarea volumului [illegible] în cariere . . . 587
5.9.2. Măsurarea depozitelor de steril 591
5.9.3. Măsurarea unor deşeuri [illegible] 592
5.9.4. Măsurarea [illegible] subterane 593

XVI. MECANICA ROCILOR

1. *Bazele teoretice ale mecanicii rocilor* . 596
1.1. Definiţii şi concepte de bază . 596
1.1.1. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale analitică 597
1.1.2. Analiza stării de tensiune sau de deformare pe cale grafică 600
1.2. Elemente de teoria tensiunilor şi a deformaţiilor în medii elastice 600
1.3. Plasticitatea. Elemente de teoria tensiunilor şi a deformaţiilor în medii plastice. Condiţii de plasticitate 603
1.4. Mecanismul de rezistenţă şi fracturare a rocilor şi substanţelor minerale utile. Ipoteze de rupere . . 603
2. *Metode experimentale pentru caracterizarea rocilor şi substanţelor minerale utile* 611
2.1. Recoltarea şi prelevarea probelor de roci 611
2.2. Caracteristici fizice 612
2.3. Caracteristici mecanice . 626
2.4. Caracteristici elastice . 632
2.5. Caracteristici reologice 640
3. *Stabilitatea excavaţiilor subterane* 644
3.1. Starea de tensiune a masivului de roci nederanjate prin excavaţii 644
3.1.1. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic 644
3.1.2. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament elastic 646
3.1.3. Starea de tensiune pentru un masiv cu comportament plastic 647
3.1.4. Starea de tensiune într-un masiv cu comportament neelastic 649
3.1.5. Starea de tensiune de origine tectonică . 649
3.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul excavaţiilor subterane 650
3.2.1. Studii şi cercetări teoretice clasice referitoare la repartizarea tensiunilor 651
3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene şi izotrope 651
3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice . 656
3.2.2. Studii şi cercetări numerice referitoare la repartizarea tensiunilor. (Metoda elementelor finite) . 660
3.2.3. Studii şi cercetări efectuate prin metoda optică 664
3.2.4. Studiul tensiunilor şi a repartizării acestora prin măsurători directe 665
3.3. Presiunea rocilor înconjurătoare asupra excavaţiilor miniere subterane . . . 668
3.3.1. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere orizontale 670
3.3.1.1. Presiunea din tavan 670
3.3.1.2. Presiunea laterală 686
3.3.1.3. Presiunea din vatră 686
3.3.2. Presiunea rocilor asupra lucrărilor miniere verticale 688
3.3.2.1. Ipoteza forţelor . 688
3.3.2.2. Ipoteza deformaţiilor 692
3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale 695

3.3.3. Presiunea rocilor asupra abatajelor . . . 698
3.4. Studiul manifestării presiunii miniere prin măsurători directe . 703
3.5. Studiul manifestării presiunii prin metoda modelării cu materiale echivalente . . . 705

4. *Stabilitatea taluzelor* 709

4.1. Considerații privind condițiile și factorii care determină stabilitatea taluzelor . . . 709
4.2. Forma suprafețelor de rupere și procedee de calcul ale acestora 718
4.3. Calculul stabilității taluzelor 718
4.3.1. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă elastică 719
4.3.2. Stabilitatea taluzelor executate în masive de rocă slab coezivă și cu coeziune mică . . . 720
4.3.3. Stabilitatea taluzelor afectate de prezența pînzelor acvifere în masivul de rocă în care sînt executate . . . [illegible]
4.3.4. Metode aproximative . . . [illegible]
4.4. Măsuri de prevenire și control la executarea taluzelor . . . 733

5. *Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță și planșeelor* . . . 737

5.1. Proiectarea și dimensionarea pilierilor de siguranță . . . 737
5.1.1. Considerații generale asupra calculului dimensiunilor pilierilor de siguranță . . . 737
5.1.2. Procedee de calcul și verificarea dimensiunilor pilierilor de siguranță . . . 729
5.1.3. Calculul dimensiunilor pilierilor de susținere la exploatarea sării prin dizolvare cinetică . . . 734
5.2. Proiectarea și dimensionarea camerelor de exploatare și grosimii planșeelor dintre etaje . . . 736
5.2.1. Deschiderea camerelor la tavan 736
5.2.2. Calculul lungimii unei camere 738
5.2.3. Calculul înălțimii unei camere 739
5.2.4. Calculul dimensiunilor planșeelor dintre camere . . . 739

6. *Fenomenele de manifestare dinamică a presiunii miniere* . . . 741

6.1. Exploziile de rocă și substanțe minerală utilă sau socurile miniere . 741
6.1.1. Exploziile de rocă produse în lucrări miniere singulare 747
6.1.2. Exploziile de rocă produse în lucrări miniere multiple și în abataje . . . 747
6.2. Eruptiile de cărbune și gaz sau rocă-apă și gaz (vuturi) . . . 749

7. *Influența exploatărilor subterane asupra terenului de la suprafață* . . . 751

7.1. Deformarea suprafeței terenului sub influența exploatării subterane . . . 751
7.1.1. Caracterul deplasării și deformării masivului de rocă și a suprafeței terenurilor 751
7.1.2. Factorii care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor . . . [illegible]
7.1.3. Parametrii și elementele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor . . . 754
7.1.4. Stadiile de dezvoltare a albiei de scufundare . . . 757
7.2. Metode de studiu a deplasărilor și deformațiilor suprafeței terenurilor . . . 758
7.2.1. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare 759
7.2.2. Evoluția metodelor de calcul a deplasărilor și deformațiilor suprafeței terenurilor . . . [illegible]
7.3. Metode matematico-analitice de calcul a parametrilor scufundării 761
7.3.1. Strate orizontale și cu înclinare mică . . . 762

X. PROSPECȚIUNEA

Prof. dr. doc. ing. RADU BOTEZATU
Membru corespondent al Academiei R. S. România
Prof. dr. doc. GRAȚIAN CIOFLICA
Lector IOSIF DRĂGHICI
Lector dr. IOAN MĂLDĂRESCU
Lector dr. OVIDIU DRAGASTAN

Prospecțiunea cuprinde ansamblul operațiilor și lucrărilor de cercetare geologică geofizică, geochimică, geobotanică, sau cu lucrări miniere și foraje, executate în scopul evidențierii unor concentrații de substanțe minerale utile în anumite structuri geologice.

Prospectarea sistematică a unei regiuni se face trecîndu-se succesiv de la cercetări cu caracter general, ce privesc suprafețe mari, la cercetări de detaliu, localizate în zone favorabile acumulărilor de substanțe minerale utile. În funcție de gradul de aprofundare a cercetării unei regiuni, se pot distinge

a) *prospecțiuni preliminare* (strategice), care se efectuează la scară mică, în vederea descifrării în linii generale a structurii geologice a regiunii și delimitării, în cadrul acesteia, a zonelor cu diferite grade de perspectivă pentru identificarea anumitor concentrații de substanțe minerale utile

b) *prospecțiuni de detaliu* (tactice), care se execută la scară mare și au ca obiectiv descifrarea amănunțită a structurii geologice și cunoașterea, cu precizia necesară începerii explorării, a condițiilor geologice în care se găsesc concentrațiile de substanțe minerale utile identificate. Dacă activitatea de prospecțiune urmărește o astfel de succesiune, înseamnă că s-au asigurat condițiile unor cercetări sistematice, care sporesc eficiența lucrărilor geologice, deoarece necesitatea trecerii la faza superioară, prospecțiunea de detaliu, este justificată de rezultatele fazei precedente, a prospecțiunii preliminare. Uneori, însă, în activitatea de prospecțiune apar situații în care aceste două faze de cercetare nu mai pot fi urmărite, ca succesiune, cu multă rigurozitate; este cazul, de exemplu, al identificării unor concentrații de substanțe minerale utile, în faza lucrărilor de prospecțiune strategică, care impune trecerea direct la explorare, eliminînd astfel faza lucrărilor de prospecțiune de detaliu.

Se disting, în funcție de metodele de investigație utilizate, următoarele tipuri de prospecțiuni: *geologice, geofizice, geochimice, geobotanice, cu lucrări miniere și foraje.*

Lucrările de prospecțiune au la bază harta geologică a regiunii și ansamblul de date geologice, uneori și minere, obținute prin cercetările anterioare, care oferă posibilitatea conturării perimetrului de prospectat și reprezintă, în același timp, o sursă pentru premisele geologice și indicatorii de prospecțiune. Metodele de prospecțiune sînt selectate în funcție de particularitățile structurii geologice, de condițiile geomorfologice și de natura substanței minerale utile ce urmează a fi prospectată. Eficiența cercetărilor de prospecțiune este mai ridicată în urma combinării variatelor metode de prospecțiune, și anume a acelora considerate a fi mai adecvate condițiilor geologice în care se află concentrațiile de substanțe minerale utile. Combinarea într-o regiune a metodelor de prospecțiune se poate realiza astfel:

a) prin aplicarea succesivă a diferitelor metode de prospecțiune, ceea ce presupune ca fiecare metodă utilizată să aibă la bază rezultatele metodelor precedente; este un mod de execuție rațional, nefiind legat de riscuri prea mari în obținerea rezultatelor, dar rezolvarea obiectivelor se face într-un timp mai îndelungat;

b) prin suprapunerea în timp, cel puțin pe un anumit interval, a diferitelor metode de prospecțiune; o astfel de complexare a lucrărilor de prospecțiune reduce durata execuției, dar oferă și riscul cercetărilor, uneori destul de costisitoare și cu rezultate negative.

Indiferent de metodele de prospecțiune folosite și de gradul de aprofundare al investigațiilor, activitatea de prospecțiune presupune trei etape:

a) *pregătirea pentru teren*, cînd se întocmește documentația geologică și se elaborează proiectul tehnico-geologic;

b) *lucrul pe teren*, cînd se adună ansamblul de informații necesare descifrării structurii geologice a regiunii prospectate și conturării perspectivelor sale din punct de vedere economic;

c) *prelucrarea informațiilor*, cînd se precizează, pe baza investigațiilor de laborator și a datelor de teren, elementele care justifică trecerea la o fază superioară de cercetare sau întreruperea activității de prospecțiune în regiune.

1. PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Prospecțiunea geologică cuprinde un ansamblu de investigații, care au ca element [illegible] geologică efectuată în scopul descifrării structurii geologice a unei regiuni și a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile.

[illegible] se execută în deschideri naturale și artificiale, pe fragmente de minerale și pe concentrate de minerale grele din aureole de dispersie mecanică, generate de corpurile de substanțe minerale utile. Rezultatele obținute se exprimă pe hărți topografice, conducînd în final la elaborarea hărților geologice, care oferă elementele de bază pentru interpretarea structurii geologice și stabilirea potențialului său economic.

Prospecțiunea geologică are o eficiență sporită în regiunile cu numeroase deschideri naturale, unde corpurile de substanțe minerale utile au generat, sub acțiunea proceselor de alterare supergenă, aureole de dispersie mecanică. În regiunile în care corpurile de substanțe minerale utile sînt localizate în structuri geologice ascunse, situate la diferite adîncimi în litosferă, prospecțiunea geologică se combină cu prospecțiunea geofizică, uneori cu prospecțiunea geochimică; lucrările miniere și forajele intervin, desigur, cu pondere diferită, în toate condițiile geologice.

1.1. PREMISE GEOLOGICE FUNDAMENTALE

Premisele geologice fundamentale cuprind ansamblul de elemente (structurale, magmatice, lito-stratigrafice, paleogeografice, metamorfice, geochimice) care controlează localizarea și conservarea concentrațiilor de substanțe minerale utile în structurile geologice. Prin natura lor, premisele geologice oferă baza teoretică pentru delimitarea arealelor cu diferite grade de perspectivă și pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune

X.1.1. PREMISE STRUCTURALE

Premisele structurale au o importanță deosebită în conturarea zonelor în care structurile geologice sînt posibil purtătoare de mineralizații, îndeosebi de natură hidrotermală, sedimentară și metamorfică. Rolul acestora este determinant la scară locală și regională, deoarece elementele structurale controlează distribuția în spațiu și aspectele morfologice ale corpurilor de minereu.

Fig. X.1. Depunerea de mineralizații pe fracturi și pe o rețea densă de fisuri:

a — filoane; *b* — volbură; *1* — depozite cretacice; *2* — depozite miocene; *3* — aglomerate andezitice miocene; *4* — stîlp de andezite; *5* — filoane; *6* — granite; *7* — volbură.

Favorabile pentru localizarea concentrațiilor hidrotermale sînt *variatele tipuri și sisteme de fracturi* și *variatele tipuri de brecii* (tectonice, de explozie, de prăbușire); rezultă filoane, cu diferite aspecte morfologice, dacă depunerile s-au realizat la nivelul fracturilor, sau stock-uri și volburi, dacă mediul de depunere a fost o masă de brecii ori o rețea densă de fisuri (fig. X.1). Mai puțin frecvente, dar cu o deosebită importanță pentru procesul de metalizare hidrotermală, sînt *fracturile din șarnierele și de pe flancurile anticlinalelor*, precum și *cavitățile de exfoliere a stratelor din zonele anticlinale și sinclinale* (fig. X.2).

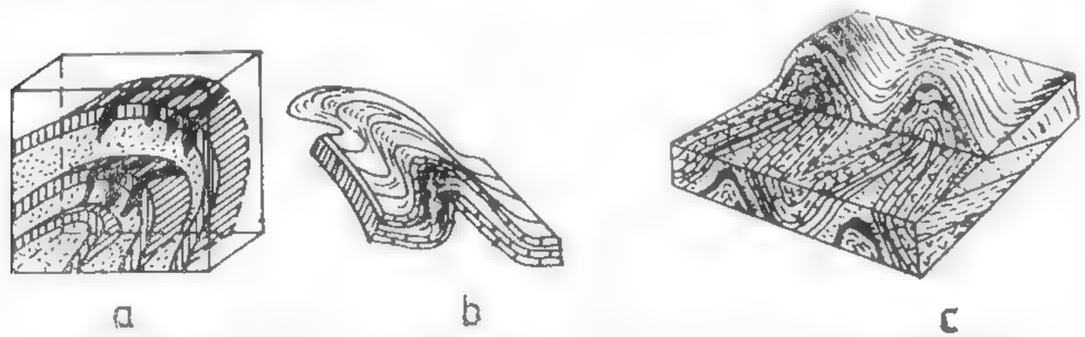


Fig. X.2. Localizarea mineralizațiilor în raport cu elementele structurale

a — în fracturile din șarniera unei anticlinal; *b* — în fisurile de pe flancurile unei cute; *c* — în spațiile rezultate din exfolierea stratelor

Fracturile majore, unele falii cu extinderi importante, ca și *planele de încălecare* constituie, în anumite situații, calea de migrare a soluțiilor mineralizante. Efectele acestui fenomen sînt trădate de impregnațiile de minerale metalice și de transformările metasomatice ale rocilor cu astfel de elemente structurale; corpurile de mine-

reuri [illegible] localizate pe fracturile adiacente elementelor structurale majore. În acest fel pe[illegible] fundamentarea teoretică a lucrărilor de prospecțiune geologică este esențială stabilirea rolului îndeplinit de diferitele elemente structurale: a) căi de acces pentru soluțiile mineralizante; b) rol de intermediar între fracturile majore și cele în care se depun mineralizațiile; c) sediul localizării mineralizațiilor (fig. X.3).

În cazul concentrațiilor de afiliație sedimentară și metamorfică importante sînt deformările plicative și rupturale care afectează corpurile de minereu. Uneori, corpurile

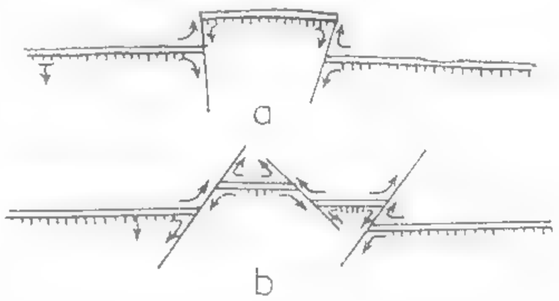


Fig. X.3. Circulația soluțiilor hidrotermale pe falii:

a — [illegible] transversale; *b* — [illegible] diagonale

[illegible] prinse în cîmpul de acțiune al mișcărilor tectonice își pot păstra, pe distanțe [illegible] aspectele morfologice primare; alteori acestea sînt intens cutate și budinate, adesea efilîndu-se pe flancurile cutelor, iar în zona axială a anticlinalelor și sinclinalelor realizînd o îngrosare a masei de minereu. Intervenția deformărilor rupturale, ală[illegible] plicative, face ca forma primară a zăcămintelor să fie cu greu recunoscută. În [illegible] situații, reconstituirea formei inițiale implică un studiu statistic al tuturor elementelor structurale, stabilindu-se relațiile de timp dintre ele, ca și etapele procesului de deformare.

Adesea deformările plicative și rupturale din timpul metamorfismului regional sînt însoțite și de fenomene de remobilizare locală și de redepunere a substanțelor minerale utile, la nivelul planelor de șistozitate și a fracturilor. Astfel de concentrații locale, realizate în metamorfismul regional, oferă false succesiuni de depunere și false aspecte concordante în planurile de șistozitate. Reconstituirea formei inițiale este, în acest caz, și mai dificilă, ea necesitînd studii aprofundate petrografice, stratigrafice, microstructurale și chiar paleogeografice, pe ansamblul unității structurale în care se află zăcămintele, în scopul orientării lucrărilor de cercetare geologică.

Corpurile de minereu sînt grupate în unități metalogenetice de diferite mărimi în cadrul unităților tecto-structurale majore, plăcile litosferice; ele urmăresc, din aproape în aproape, unitățile petrogenetice cu care se asociază. Examinarea relațiilor dintre aceste unități conduce la concluzii cu importanță în prospecțiunea preliminară, privind cadrul tectonic, asociațiile petrometalogenetice și poziția lor în unitățile tecto-structurale majore.

Astfel s-a remarcat faptul că la marginea plăcilor litosferice cu contacte de divergență, contacte de convergență sau contacte definite ca falii transformante, corpurile de minereu au frecvența cea mai mare, în timp ce în interiorul plăcilor frecvența lor este mai redusă.

Așa, de exemplu, o mare parte dintre concentrațiile lichidmagmatice (Cr, Ni-Cu, Fe-Ti-V), hidrotermale (filoane și volburi cu minealizații de Cu, pirită etc.) și vulcanogene sulfuri masive stratiforme tip *Cipru*, oxizi de fier și mangan) se află în regiunile de expansiune din domeniul oceanic și al bazinelor marginale, asociindu-se magmatitelor

tholeu[illegible] la partea superioară a acestora (fig. X.4). Uneori, astfel de concentrații, asociate ultrabazitelor (peridotite, serpentinite) și bazitelor (gabrouri, curgeri de lave bazaltice, frecvent în facies de pillow-lava), se găsesc pe marginea plăcilor cu contacte de convergență, în poziție alohtonă; sînt fragmente de crustă oceanică (ofiolite alohtone). Mineralizațiile cuprifere asociate complexelor de roci bazice de la Baia de Aramă aparțin acestui tip.

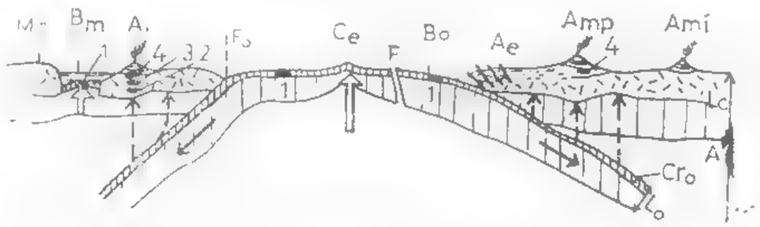


Fig. X.4. Localizarea corpurilor de minereuri la marginea plăcilor litosferice:

Ce — creastă de expansiune principală; *F* — falie transformantă; *Fo* — fosă; *Bo* — bazin oceanic; *Lo* — litosferă oceanică cu crustă oceanică (*Cro*) și sedimentele de la partea sa superioară; *Lc* — litosferă continentală; *A* — astenosferă; *Ae* — arc extern; *Amp* — arc magmatic principal tip *andin*, *Ami* — arc magmatic intern; *Ai* — arc insular; *Bm* — bazin marginal, *Mc* — margine continentală inactivă; *1* — concentrații vulcanogene de Cu și pirită tip *Cipru* și de oxizi de fier și mangan; *2* — concentrații vulcanogene de Cu—Zn, tip *Gyervinsk*; *3* — concentrații vulcanogene de Zn—Pb—Cu stratiforme tip *Kuroko*; *4* — concentrații de Cu(Mo, Au) tipul *porphyry*.

O altă parte dintre concentrațiile metalifere, îndeosebi pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale, ca și unele vulcanogene cu aspect stratiform, se află în regiunile de comprimare a litosferei, în relații genetice îndeosebi cu magmatite calco-alcaline: granite, granodiorite, diorite, monzodiorite, andezite, dacite, riolite; acestea provin prin consolidarea magmelor generate în cadrul zonelor de subducție tip *andin*. În arcurile magmatice principale tip *andin* se găsesc cele mai variate și mai numeroase concentrații pegmatitice, pirometasomatice și hidrotermale; pentru acestea din urmă sînt caracteristice mineralizațiile de Cu (Mo, Au) din sistemul *porphyry*, de Au-Ag și polimetalice cu aspecte filoniene și de volburi, ca și de Au tip *Carlin* de temperatură scăzută în roci carbonatice. Magmatitele din arcul magmatic intern conțin concentrații pirometasomatice și hidrotermale (Sn, tip *porphyry*, W, polimetalice). În arcul extern pot apare uneori granite *tip S* purtătoare de mineralizații hidrotermale de staniu. Cu o frecvență deosebită sînt mineralizațiile asociate magmatitelor din arcurile insulare, ca de exemplu: concentrații lichidmagmatice, hidrotermale și vulcanogene de sulfuri (Cu-Zn) tip *Gjervinsk*, formate în relații genetice cu magmatite bazice ale seriei tholeutice, în stadiul de arc matur; concentrații vulcanogene de sulfuri masive (Zn-Pb-Cu) stratiforme tip *Kuroko*, asociate diferențiatelor acide din seria calco-alcalină, în stadiu de arc matur; concentrații de cupru din sistemul *porphyry* aflate în relații genetice cu magmatite dominant dioritice, calco-alcaline. Concentrațiile pirometasomatice și hidrotermale (Cu din sistemul *porphyry* și din skarne; Pb-Zn, Fe, B, Mo-Bi, Cu-Mo-Bi, W din skarne; filoane de cuarț-molibden) aflate în asociația granit-granodiorit sau granodiorit-diorit, monzodiorit, Senonian-paleocene, împreună cu mineralizațiile hidrotermale (Au-Ag; Cu-pirită; polimetalice; Cu din sistemul *porphyry*) din asociațiile andezitice

neogene (roci andezitice cu diferențiatele lor) de pe teritoriul țării noastre aparțin metalogenezei zonelor de subducție, formate în arcuri magmatice.

Unele concentrații metalifere, cum sînt de exemplu cele de Sn-W și de U, apar în asociație cu intruziuni de granite tip *S* în perioada proceselor de coliziune, cînd are loc închiderea spațiului oceanic (fig. X.5).

Mineralizațiile din lungul faliilor transformante sînt mai puțin studiate. Sînt menționate anumite concentrații lichid-magmatice de Cu-Ni din ultrabazite sau de Ti

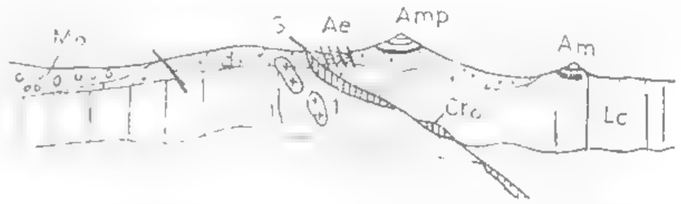


Fig. X.5. Asocierea unor mineralizații cu magmatite granitice formate în timpul coliziunii:

Ae — arc extern; *Amp* — arc magmatic principal; *Ami* — arc magmatic intern; *Cro* — fragmente de crustă oceanică; *Sd* — sedimente; *Mo* — molasă; *S* — linie de sutură; *Lc* — litosferă continentală; *1* — granite de tip *S*, formate în timpul coliziunii, cu care se asociază mineralizații de Sn, W, U sau Ag—Co—Ni (după R.D. Beckinsale și A.H.G. Mitchell, 1981, cu modificări).

ilmenit) din gabrouri, aflate pe astfel de falii. Investigațiile recente au arătat că faliile transformante din spațiile oceanice se pot corela pe direcție cu unele fracturi continentale; la intersecția acestor falii cu creasta oceanică, precum și a fracturilor continentale de pe direcțiile faliilor transformante, cu alte sisteme de fracturi tectonice majore de pe continent, se dispun importante corpuri de minereuri.

În interiorul plăcilor, în relații genetice cu magmatismul anorogenic din zonele fierbinți apar concentrații lichidmagmatice și hidrotermale, uneori de mare valoare economică. Este cazul concentrațiilor de Fe-Ti, Ni-Cu, Pt, Cr din unele intruziuni gabro-periodotitice, stratiforme, a carbonatitelor din complexele alcaline, ca și a unor mineralizații de staniu asociate granitelor anorogenice. În rifturile intracontinentale sînt frecvente mineralizațiile stratiforme de Pb-Zn-Ba tip *Mississippi Valley* și concentrații de Cu în roci detritice grosiere; în asociații cu vulcanite se găsesc corpuri de sulfuri masive. Pe fracturile ce delimitează rifturile apar carbonatite cu Nb, TR, U, Th, Zr, Cu, P etc. Au fost identificate, în astfel de cadru tectonic, și mineralizații de Cu sau Cu-Mo tip *porphyry* ca și kimberlite cu diamante.

1.1.2. PREMISE MAGMATICE

Premisele magmatice privesc un ansamblu de elemente legate de evoluția în timp și în spațiu a magmelor și a soluțiilor postmagmatice afiliate, pe baza cărora pot fi conturate zonelor favorabile localizării concentrațiilor de substanțe minerale utile. Astfel de elemente sînt: relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite, relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația magmatitelor, forma de zăcămînt, dimensiunea și structura internă a corpurilor eruptive, ca și zonalitatea mineralizațiilor.

Relațiile dintre substanțele minerale utile și tipurile de magmatite pot fi: *genetice* și *paragenetice*.

În cazul relațiilor genetice, magmatitele și concentrațiile de substanțe minerale utile asociate prezintă cel mai apropiat grad de înrudire, ele avînd ca element comun sursa și procesele de formare. Prin modul lor de prezentare, magmatitele purtătoare de concentrații de minerale utile constituie chiar ele corpuri de minereuri. În asociație genetică evidentă și cu valoare deosebită pentru lucrările de prospecțiune, se află

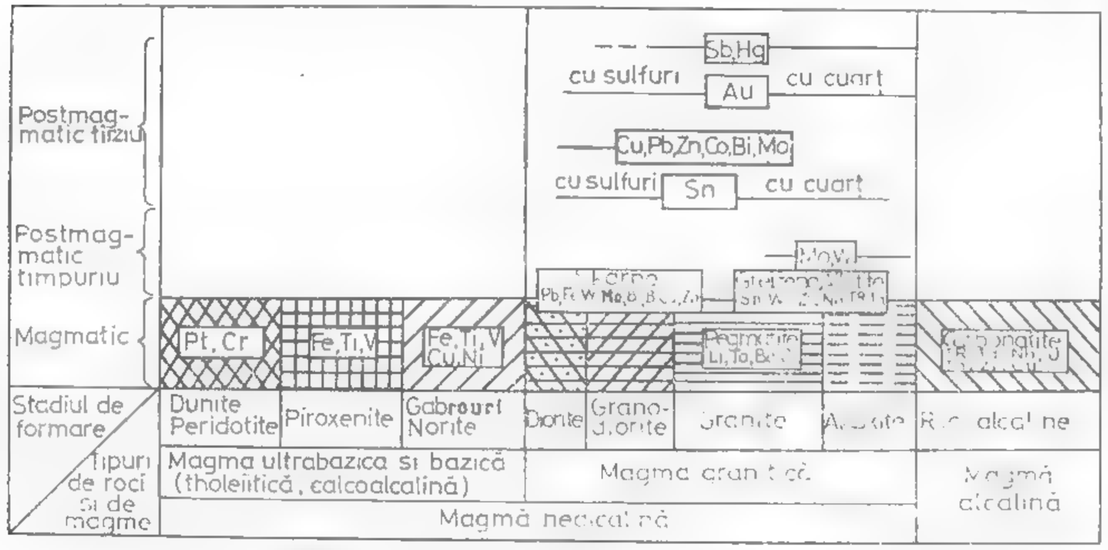


Fig. X.6. Afinitățile anumitor elemente pentru unele tipuri de magme.

concentrațiile de minerale metalice de natură lichidmagmatică din intruziunile de roci bazice și ultrabazice. Este cazul cromitului și platinei din peridotite și serpentinite, ilmenitului și titanomagnetitului din gabrouri și anortozite, pirotinei nichelifere din norite și gabrouri, diamantului din kimberlite etc.

În cazul relațiilor paragenetice, magmatitele și mineralizațiile asociate au ca element comun numai sursa, procesele genetice fiind deosebite. În astfel de relații se găsesc, de exemplu, mineralizațiile din skarne și greisene afiliate intruziunilor acide și intermediare, mineralizațiile de tip *porphyry copper* sau de tip *porphyry molybdenum* din intruziunile în facies porfiric, filoanele cu mineralizații auro-argentifere, cuprifere și polimetalice asociate vulcanismului andezitic.

De fapt, astfel de relații genetice și paragenetice sînt o continuare și, prin urmare, o concretizare a afinităților anumitor elemente pentru unele tipuri de magme (fig. X.6). Magmele bazice și ultrabazice sînt în general deficitare în componenți volatili, ceea ce influențează concentrarea cu precădere a Pt, Os, Ir, Cr, Ti, V, Ni și Cu în faza lichidmagmatică. Magmele acide au un conținut ridicat în componente volatile, ceea ce determină apariția fluidelor care generează treptat greisenele și albitite cu concentrații de Sn, W, Nb, Zr, Th, TR. Magmele intermediare prezintă cantități suficiente de componente volatile, pentru ca fluidele diferențiate din acestea să contribuie la formarea skarnelor și mineralizațiilor asociate (Fe, B, W, Mo, Bi, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, U). Soluțiile hidrotermale provenite printr-o diferențiere evoluată

atît a magmelor acide cît și a celor intermediare concentrează Mo, W, Sn, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Bi, U, Au, Ag, Sb, Hg. În contrast cu magmele nealcaline se află cele alcaline, pentru care prezintă afinități TR, Nb, Ta, Zr, Th, U etc. care se concentrează prin intermediul soluțiilor postmagmatice.

Din numeroasele observații de teren a rezultat că magmele acide și intermediare generează cea mai mare parte din mineralizațiile postmagmatice; ele ar reprezenta circa 95% din ansamblul concentrațiunilor postmagmatice afiliate magmelor nealcaline și alcaline.

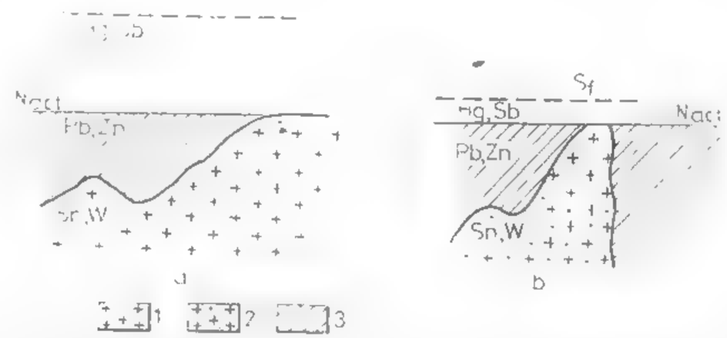


Fig. X.7. Relațiile dintre dezvoltarea mineralizațiilor în zonele de influență ale intruziunilor și granulația rocilor:

1 — granite; 2 — microgranite; 3 — formațiuni înconjurătoare; N_{act} — nivelul actual de eroziune; S_f — suprafața în momentul formării intruziunilor.

Aceste aspecte, oarecum generale pentru fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, au fost adîncite în ultimul timp, în sensul identificării unor asociații preferențiale ale unor concentrații de substanțe minerale utile cu anumite tipuri de intruziuni. Spre exemplu, s-a stabilit că mineralizațiile de casiterit din pegmatite și de casiterit-cuarț, hidrotermale, sînt legate preferențial de intruziuni acide în care K > Na. În schimb, concentrațiile de casiterit-sulfuri sînt în asociație cu intruziuni intermediare, granodioritice sau cuarț-monzonitice. Conținutul în Sn al granitelor purtătoare de mineralizații stanifere este ridicat (16-30 g/t sau mai mult), în timp ce în granitele lipsite de astfel de mineralizații conținutul în Sn este scăzut; concentrarea staniului apare, în schimb, la nivelul biotitului (80 la 200 g/t Sn).

Efectuarea unor astfel de investigații sistematice, pe asociații de mineralizații și intruziuni, ar putea oferi o mai bună fundamentare a lucrărilor de prospecțiune, în sensul conturării arealelor cu diferite grade de perspectivă și chiar a precizării intruziunilor cu potențial metalogenetic ridicat.

Relațiile dintre concentrațiile metalifere și granulația rocilor eruptive, cu care acestea se asociază, permit a previziona dezvoltarea pe înălțimi mai mari sau mai restrînse a mineralizațiilor, în zonele de influență ale intruziunilor; mineralizațiile au o extindere mai mare în aria de influență a intruziunilor constituite din roci grăunțoase și mai redusă în jurul intruziunilor alcătuite din roci micrograunțoase (fig. X.7). Această corelație este determinată de rata de răcire a magmei care, la rîndul său, va controla momentul de separare a soluțiilor metalizante din camera magmatică și modul lor de diferențiere în spațiu.

Forma de zăcămînt a corpurilor eruptive, privită în corelație cu caracterul acid, intermediar, bazic sau ultrabazic al rocilor componente, oferă indicații asupra poziției în spațiu și chiar a tipurilor de mineralizații.

Concentrațiile de substanțe minerale utile asociate plutonilor și subvulcanilor cu caracter acid sau intermediar sînt localizate în zonele marginale și în cele de influență ale acestora (zone de contact, formațiuni înconjurătoare); ele au un caracter pegmatitic, pirometasomatic și hidrotermal. Se consideră că în apropierea apofizelor slab inclinate și de formă neregulată sînt cele mai favorabile condiții de depunere a

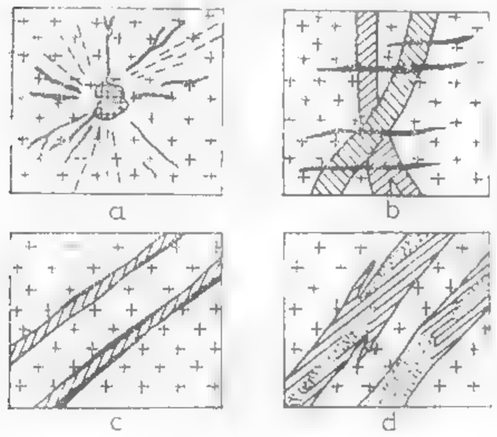


Fig. X.8. Relații între dik-uri de roci eruptive intermediare sau acide și mineralizații hidrotermale

[illegible] radiare [illegible] și mineralizații [illegible] hasuri) intretaiere [illegible] (benzi negre) [illegible] între dik-uri (hasuri) și [illegible] (benzi negre) [illegible] pe aceeași fractură [illegible] și mineralizații [illegible]

acestor mineralizații. În faciesurile porfirice ale plutonilor și în [illegible] subvulcanice, adesea cu o rețea densă de fisuri, concentrațiile metalifere se pot dispune ca impregnații și vinișoare (volburi), însoțite de alterații hidrotermale caracteristice; sînt mineralizațiile de tip *porphyry*. Relațiile spațiale ale dik-urilor cu mineralizațiile hidrotermale pot varia de la o dispoziție radiară sau de întretăiere, pînă la localizarea pe aceeași fractură (fig. X 8)

În contrast cu acestea, concentrațiile [illegible] lopolitelor, lacolitelor, pînzelor intruzive și dik-urilor de roci bazice și ultrabazice, diferențiate stratiform sau *alpino-tip* sînt localizate cu precădere în interiorul intruziunilor, ca diseminări, cuiburi, șlire și acumulări sub formă de orizonturi continue sau discontinue; ele au un caracter lichid magmatic. Depunerile hidrotermale sînt în afara intruziunilor [illegible] o importanță redusă.

Mineralizațiile asociate aparatelor vulcanice și coloanelor de brecii din complexele vulcanice se dispun în apropierea contactului cînd au un aspect filonian, sau în interiorul acestora, cînd alcătuiesc volburi; uneori se dezvoltă în formațiunile înconjurătoare, la distanțe mai mari sau mai mici față de corpurile eruptive înrădăcinate, fiind controlate structural. Stivele de lave, uneori bazice (tholeiitice), alteori andezitice-dacitice, conțin corpuri stratiforme de sulfuri masive, vulcanogene, situate la limita cu formațiunile sedimentare acoperitoare; ele s-au format în condiții submarine.

Dimensiunea intruziunilor oferă o primă imagine asupra mărimii corpurilor de minereuri. Se consideră că zăcămintele cu dimensiuni mari sînt legate genetic de batholite, stock-uri și lopolite. Prin aceasta nu trebuie neglijată cercetarea intruziunilor de mică adîncime (lacolite, sfenolite, variate apofize, dik-uri) cărora li se asociază importante concentrații metalifere cu valoare deosebită.

Intruziunile bazice și ultrabazice sînt diferențiate stratiform sau *alpino-tip*. [illegible] cazul intruziunilor stratiforme, acumulările de substanțe minerale utile [illegible] orizonturile bazale sau intermediare; există situații cînd concentrațiile metalifere se găsesc la diferite nivele în profilul intruziunilor (fig. X.9). Orizonturile purtătoare de minerale utile sînt mai mult sau mai puțin continue, cvasiorizontale sau înclinate și prezintă grosimi variabile de la cîțiva centimetri la cîțiva zeci sau sute de metri. În cazul intruziunilor diferențiate *alpino-tip* concentrațiile de substanțe minerale utile formează șlire, cuiburi și diseminări în masa intruziunii.

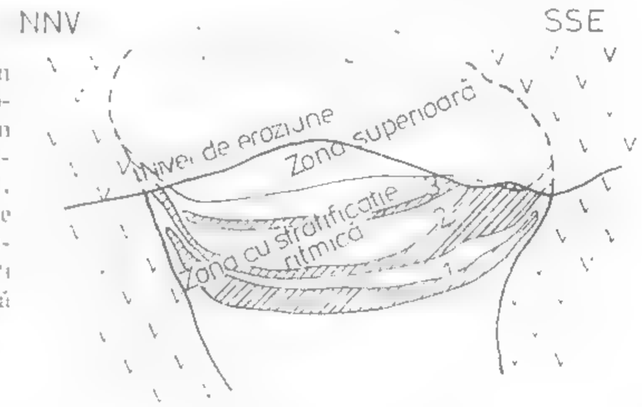


Fig. X.9. Secțiune geologică prin [illegible] de la Almas Săliște (Munții Dro[illegible]). Zona superioară — alcătuită din gabrouri și anortozite; zona cu stratificație ritmică cuprinde trei nivele (1, [illegible] formare din gabrouri, hiperite și dolerite cu magnetit (benzile hasurate) care alternează cu gabrouri [illegible] (benzile albe). Intruziunea se află [illegible] bazalte tholeiitice, iuras[illegible]

Elementele structurale ale unei intruziuni pot fi *primare* și *secundare*. Primele [illegible] structurale, [illegible] de la scară microscopică sau mezoscopică, se formează în [illegible] curgere [illegible], cînd are loc procesul de cristalizare, și în faza solidă,

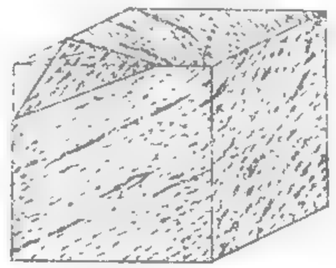


Fig. X.10. Dispunerea benzilor de minereu în planul de curgere.

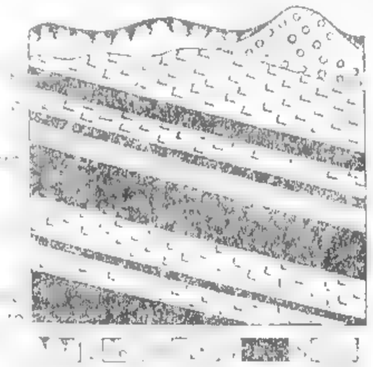


Fig. X.11. Localizarea benzilor de cromit în lopolitul de la Bushveld: *1* — sol; *2* — anortozite; *3* — gabrouri; *4* — cromite; *5* — bronzite

după consolidarea zonelor periferice ale camerei magmatice. În faza de curgere apar foliația și liniația (fig. X.10), în lungul cărora se dispun mineralele utile; uneori ele pot da naștere la acumulări stratiforme (fig. X.11). În faza solidă rezultă fisuri primare, localizate în părțile marginale ale intruziunii, unele conform cu faliația și liniația

fig. X.12). Fisurile transversale (5), fisurile slab înclinate (3) și fisurile marginale (2) pot conține mineralizații hidrotermale și pegmatite; fisurile longitudinale (4) și fisurile diagonale (6 și 7) sînt de regulă închise și lipsite de mineralizații.

Elementele structurale secundare se datoresc mișcărilor tectonice, care se manifestă după formarea corpului intruziv. Ele au extinderi mari și conțin mineralizații, așa cum am menționat la premisele structurale.

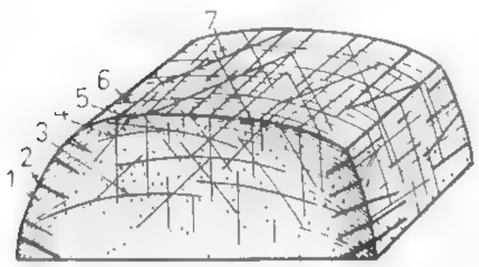


Fig. X.12. Orientarea fisurilor primare într-un corp intruziv:

1 — linia de contact primară; 2 — fisuri marginale; 3 — fisuri tangențiale; 4 — fisuri longitudinale; 5 — fisuri transversale; 6 și 7 — fisuri diagonale.

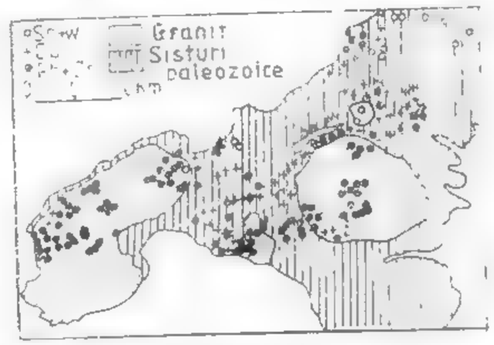


Fig. X.13. Distribuția zonală a mineralizațiilor de la Cornwall—Anglia.

Distribuția zonală a mineralizației (fig. X.13) are o valoare deosebită în stabilirea relațiilor dintre anumite substanțe minerale utile și intruziunile care le-au generat. Variația sistematică a compoziției mineralogice sau chimice în cuprinsul zonelor cu mineralizații, ca și tendințele de dezvoltare a acestora în acoperișul intruziunii, constituie elemente de orientare a lucrărilor de prospecțiune.

1.1.3. PREMISE LITO-STRATIGRAFICE

Natura litologică și poziția stratigrafică a formațiunilor în care se concentrează substanțele minerale utile prezintă importanță în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune.

Astfel, pentru formarea zăcămintelor postmagmatice, un rol esențial îl au *porozitatea* și *casanța rocilor*. Prezența rocilor poroase sau traversate de variate sisteme de fisuri asigură circulația soluțiilor mineralizante și, prin urmare, condiții favorabile pentru localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile.

În același timp, *existența într-o regiune a unor formațiuni carbonatice, străbătute de intruziuni acide-intermediare, calco-alcaline sau alcaline, însoțite de un complex de transformări pneumatolitice și hidrotermale* reprezintă un criteriu important pentru conturarea unor zone posibil purtătoare de concentrații metasomatice de fier, molibden, bismut, wolfram, cupru, plumb-zinc-argint etc. Formațiunile purtătoare de șisturi cărbunoase, șisturi cuprifere sau piritoase, lamprofire, amfibolite etc. sînt medii favorabile pentru concentrarea intensivă a anumitor mineralizații cum sînt cele de aur sau uraniu; mineralizațiile vor fi mai bogate în zonele de intersecție a fracturilor, prin care

circulă soluțiile mineralizante, cu rocile care constituie mediul reducător. Este influența topominerală prin care se exprimă relațiile spațiale dintre unele roci și concentrații metalifere.

Controlul stratigrafic se poate manifesta la scară regională sau locală, mai ales în cazul zăcămintelor de afinitate sedimentară. La diferite nivele, în *secvențele formațiunilor sedimentare, marine sau lagunare*, se pot afla, de la caz la caz, concentrații sedimentare chimice, vulcanogene sau de evaporare ca, spre exemplu, de fier, mangan, aluminiu, sulfuri, săruri, sulfați, argile etc. Pe suprafețele de peneplenizare, unde se manifestă un control geomorfologic riguros alături de cel stratigrafic, se găsesc adesea depozite reziduale de nichel, fier, mangan, aluminiu etc.

În general, localizarea zăcămintelor în anumite etaje, orizonturi sau nivele ale unor formațiuni geologice, face necesară cunoașterea detaliată a unităților stratigrafice, a variațiilor de faciesuri și a accidentelor tectonice, care pot determina efilarea sau dispariția acestora.

1.1.4. PREMISE PALEOGEOGRAFICE

Elementele paleogeografice sînt utilizate în fundamentarea lucrărilor de prospecțiune, mai ales în strînsă corelație cu cele paleotopografice și geomorfologice, deoarece ele sînt esențiale în formarea și localizarea minereurilor. Dintre astfel de elemente reținem relieful ariilor de acumulare și dependența de ariile sursă, cursul paleorîurilor, variația liniei de țărm, direcția curenților în ariile de acumulare, paleoclimatul, existența unor centre de activitate vulcanică sau de izvoare fierbinți.

Mediul marin prezintă variate forme de relief cu acumulări specifice de substanțe minerale utile, distribuite în spațiu în funcție de paleotopografie (fig. X.14). *Zonele litorale și de platformă continentală* sînt favorabile concentrațiilor de fier oolitic, plumb și zinc, cupru și fosfați; *în golfurile mai mult sau mai puțin închise* se pot localiza unele minereuri de fier, cupru etc. *Pragurile* dintre două arii marcate de strîmtori, istmuri

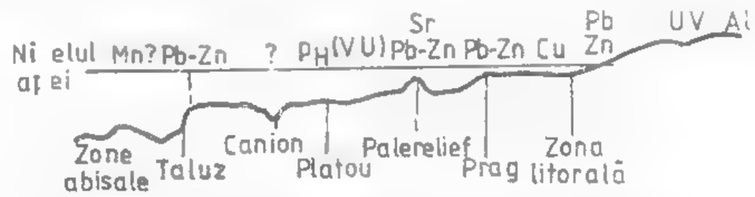


Fig. X.14. Distribuția concentrațiilor de minereuri în funcție de paleogeografie (după P.Nicolinii, 1970)

formațiuni coraligene, zone pelagice etc. au uneori un rol important în localizarea concentrațiilor de substanțe minerale utile; un exemplu îl constituie istmul Kafue care separă două aliniamente de mineralizații cuprifere din Zambia (fig. X.15). *Marginile ariilor peneplenizate* constituie regiuni potențiale cu variate concentrații biogene și chemogene, ca de exemplu: bauxite, minereuri de fier și mangan, săruri, argile refractare. Uneori *denivelările carstice* conțin acumulări de fier, mangan, plumb-zinc, bauxite, osforite, baritină etc.

În constituirea cursurilor unor [illegible] este importantă deoarece în astfel de paleovăi și paleocuvete se găsesc depuneri de placersuri cu metale și pietre prețioase sau concentrații de uranium, cupru și vanadiu; unele acumulări detritice (aur, cassiterit, ilmenit, rutil, zircon etc.) se află în *zonele de vărsare în mare* a acestor [illegible]. Descifrarea fluctuației liniei de țărm în cadrul procesului de transgresiune-regresiune și a orientării curenților marini, în strânsă corelație cu natura petrografică a formațiu-

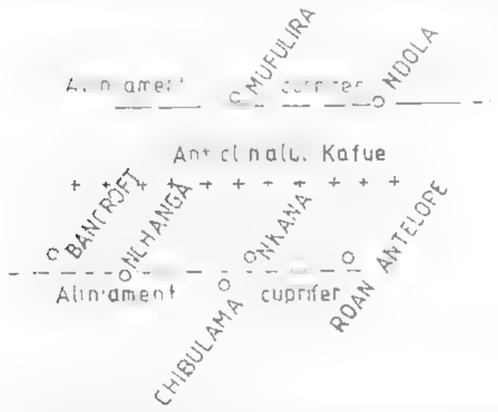


Fig. X.15. Istmul Kafue care separă două aliniamente cu mineralizații cuprifere din Zambia (după P. Nicolinii, 1970). Cerculețele indică principalele zăcăminte de cupru.

nilor geologice, oferă elemente pentru conturarea zonelor de concentrare a minereurilor uneori chiar a diverselor faciesuri pe care le îmbracă acestea. Un exemplu de relație între fluctuația liniei de țărm și depunerea diferitelor sulfuri este redat în fig. X.16.

De regulă, *formațiunile transgresive* sînt purtătoare de concentrații de fosfați; minereurile de fier, mangan, aluminiu (bauxite) și de sulfuri se asociază rocilor situate mult deasupra suprafețelor de transgresiune. În condiții de regresiune, pe uscat se ma-

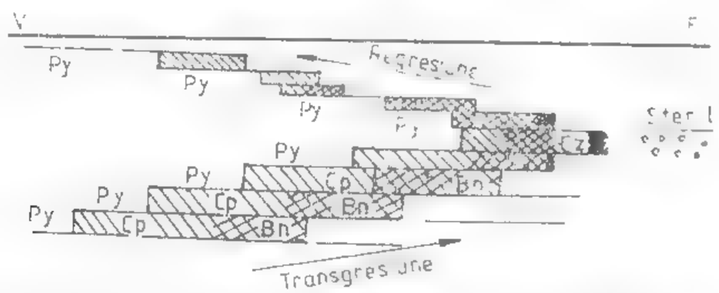


Fig. X.16. Relații între zonalitatea sedimentelor de natură sedimentară și fluctuația liniei de țărm (după W. G. Garlick, din P. Nicolinii, 1970)

Py — pirită; Cp — calcopirită; Bn — bornit; Cz — calcozină.

nifestă intensiv procesul de alterație, generînd acumulări reziduale, iar în lagune procesul de evaporare, care conduce la depuneri de săruri.

Efectele paleoclimei se resimt puternic în geneza și localizarea minereurilor exogene, îndeosebi reziduale și de infiltrație; este cazul concentrațiilor de hidrosilicați de nichel pe serpentinite, lateritele aluminoase pe roci silicatate slab feriferе, caolinele pe roci feldspatice, oxizi de mangan pe roci primare manganifere, zăcăminte de fier cu con-

ținuturi ridicate de Au, Fe, Pb pe unele zăcăminte de sulfuri. În general, climatul tropical și subtropical favorizează apariția lateritelor nichelifere și ferifere cu concentrații de asbolan, ca și a lateritelor aluminoase (bauxite) pe roci parentale silicatate (bazalte, ultrabazite, sienite), iar cel temperat a unor concentrații reziduale de caolin pe roci feldspatice sau de fosfor, fier și mangan pe roci carbonatice.

Existența unor *centre de activitate vulcanică submarină* sau *cu manifestări de izvoare fierbinți* constituie premise pentru delimitarea unor areale cu sedimente feruginoase sau manganifere, ca și cu acumulări stratiforme de sulfuri vulcanogene.

1.1.5. PREMISE METAMORFICE

Premisele metamorfice, în corelație cu cele structurale, magmatice, litostratigrafice și paleogeografice oferă o primă imagine asupra formațiunilor cristalofiliene posibil purtătoare de substanțe minerale utile de afiliație metamorfică. O astfel de valorificare complexă a premiselor este necesară în vederea descifrării naturii premetamorfice a formațiunilor purtătoare de concentrații metalifere, a proceselor de metalogeneză premetamorfică și a aspectelor imprimate de metamorfism.

Conturarea zonelor favorabile și fundamentarea teoretică a investigațiilor în terenurile cristalofiliene implică cunoașterea următoarelor aspecte: a) asociațiile petrografice, inclusiv caracterul lor premetamorfic, succesiunea pe verticală a formațiunilor, variațiile laterale de faciesuri ale mediului litologic prospectat; b) comportarea minereului în metamorfismul dinamic, regional, de îngropare și termic (modificări morfologice, structurale, texturale și mineralogice cu fenomenele de remobilizare și concentrare locală; modificări în succesiunea normală de depunere); c) corelația între concentrațiile metalifere și nemetalifere cu faciesurile metamorfismului regional (tabelul X.1); d) cadrul tectonic în care s-a desfășurat metalogeneza premetamorfică și deformările plicative și rupturale care au afectat formațiunile purtătoare de substanțe minerale utile.

Tabelul X.1

Asociații de concentrații de substanțe minerale utile cu faciesurile metamorfismului regional

Concentrații de substanțe minerale utile	Faciesuri
Cupru nativ	Zeolite
Hematit și magnetit, siderit-ankerit, aur, uraniu, sulfuri, grafit, azbest etc.	Șisturi verzi
Silicați de mangan și zinc, magnetit, disten, sillimanit, corundon, smirghel, grafit, ilmenit etc.	Amfiboliți
Magnetit, rutil, granați etc.	Granuliți
Rutil	Eclogiți

Pentru anumite regiuni este caracteristică asociația unor formațiuni cristalofiliene cu vulcanite bazice, dolerite, gabrouri și ultrabazite, metamorfozate în faciesul șisturilor verzi sau amfibolitic, care constituie elemente de litosferă oceanică; de intruziunile bazice și ultrabazice pot fi legate genetic concentrații lichidmagmatice (Cr, Pt, Ni, Fe, Ti, V), iar de poleovulcanitele bazice concentrații vulcanogene de pirită și cupru, ca și de mangan. Frecvente sînt paleovulcanitele acide în masa complexelor cristalofiliene, cu care se pot asocia mineralizații vulcanogene de sulfuri (Zn, Pb, Cu). Recunoașterea unor astfel de formațiuni de metamorfite în complexele cristalofiliene constituie un metalotect regional cu perspective importante pentru o metalogeneză lichidmagmatică și vulcanogenă stratiformă, tip *Cipru* sau tip *Kuroko*.

Uneori, în formațiunile cristalofiliene apar corpuri granitoide sincinematice sau postcinematice, în aureola cărora se pot afla concentrații pegmatitice (feldspați, mică, metale rare, pietre prețioase etc.) sau pirometasomatice și hidrotermale (Sn, W, Au, Pb, Zn, Ag etc.), mai ales în apropierea apofizelor acestora. O importanță deosebită au lentilele și filoanele de cuarț aurifer, mai ales în regiunile de platformă.

Descifrarea structurii geologice a terenurilor metamorfice, cu reconstituirea paleomediilor de sedimentare, permite nu numai precizarea condițiilor de formare a unor concentrații premetamorfice (Fe, Mn, sulfuri) de natură sedimentară, chimică și biochimică, sau a unor concentrații metamorfice propriu-zise (grafit, disten, granați, rutil etc.), dar și conturarea arealelor cu diferite grade de perspectivă de a identifica astfel de resurse minerale.

1.1.6. PREMISE GEOCHIMICE

O importanță deosebită pentru orientarea lucrărilor de prospecțiune în general și a celor geochimice în special prezintă cunoașterea acelor zone în care elementele chimice se găsesc într-o concentrație mai scăzută decît în zăcămînt, dar mai ridicată decît în mediul înconjurător, zone cunoscute sub denumirea de *aureole de dispersie* sau *aureole geochimice* (fig. X.17). Ele reflectă la o scară mai mare forma zăcămîntului

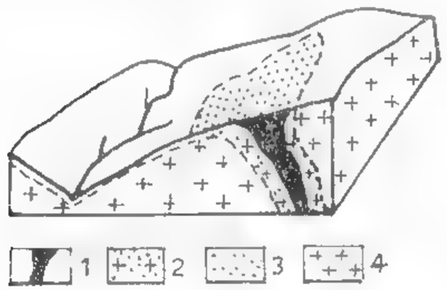


Fig. X.17. Aspectul unei aureole de dispersie

1 — corp de substanță minerală utilă; *2* — aureolă de dispersie primară în granite; *3* — aureolă de dispersie secundară; *4* — granite.

și pot fi folosite în prognoza privind existența unei mineralizații într-o regiune, mai ales atunci cînd contrastul dintre zonele cu conținuturi maxime și cele cu conținuturi minime din cuprinsul lor este puternic.

Aceste aureole geochimice, care pot să apară la zi sau pot fi ascunse în structuri geologice, se grupează în: *aureole de dispersie primară* — formate simultan cu concentrațiile de substanțe minerale utile și *aureole de dispersie secundară* — rezultate prin procese de alterare supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile

La rîndul lor, fiecare din aceste două tipuri de aureole poate avea un caracter *sincronic*, dacă apare în același timp cu rocile înconjurătoare sau *epigenetic*, dacă rezultă după formarea acestora.

În primul caz, al aureolelor singenetice, trecerea de la zăcămînt la zona invecinată se face treptat, forma aureolei reproducînd forma corpului de minereu și nefiind influențată de accidentele tectonice decît dacă rocile sînt străbătute de formațiuni mai noi și de altă natură decît roca gazdă. Astfel de aureole geochimice primare au extinderi mari și pot prezenta asociații tipice de elemente cu anumite roci (Cr, Pt, în peridotite și dunite, Ni, Cu în norite); ele sînt specifice zăcămintelor lichidmagmatice și zăcămintelor sedimentare și se folosesc la prospectarea concentrațiilor de Cr, Fe-Ti-V, Ni, Fe, Mn etc.

În cel de al doilea caz, al aureolelor primare epigenetice, trecerea de la zăcămînt la aureolă este în general tranșantă, conținutul scăzînd brusc la limita dintre mineralizație și roca gazdă; mărimea aureolei nu depinde atît de forma și concentrația zăcămîntului în componenți utili, cît mai ales de mobilitatea elementelor din fluidele mineralizante și de proprietățile rocilor gazdă. Forma și chiar compoziția chimică a aureolelor epigenetice sînt în mare măsură determinate de căile de acces ale soluțiilor, ca și de natura mediului înconjurător. Ele se pot forma în jurul zăcămintelor lichidmagmatice de injecție, pegmatitice, pirometasomatice, hidrotermale, mai rar a celor metamorfice, iar dintre cele exogene numai în apropierea zăcămintelor de infiltrație.

În cazul zăcămintelor postmagmatice este necesar să se stabilească relațiile dintre aureolele de dispersie și zonele afectate de transformări hidrotermale; acestea din urmă pot fi sincrone sau anterioare formării aureolelor de dispersie.

În categoria aureolelor de dispersie secundară, formate în timpul și din cauza proceselor de hipergeneză a zăcămintelor sînt incluse: aureole mecanice, aureole hidrogeochimice, aureole pedogeochimice și aureole biogeochimice (fig. X.18).

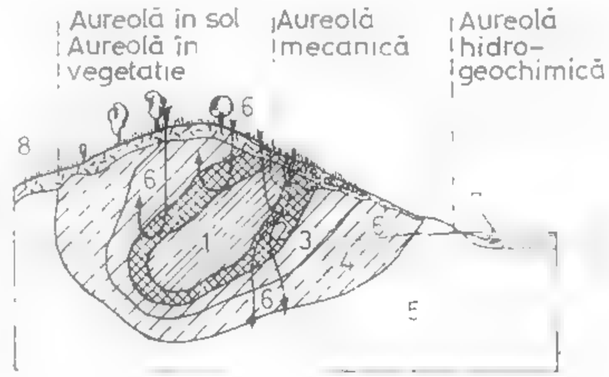


Fig. X.18. Schema formării aureolelor de dispersie secundară

1 — zăcămînt; *2, 3, 4* — aureolă geochimică în roca gazdă; *5* — roca gazdă necontaminată; *6* — ape de infiltrație; *7* — ape curgătoare, *8* — sol.

Aureolele mecanice iau naștere prin procese de alterare supergenă în care dezagregarea fizică deține rolul principal, iar dispersia elementelor chimice se realizează prin intermediul unor agenți de transport, care antrenează mineralele rezistente la alterare. Ele pot fi: eluviale, deluviale, proluviale, aluviale și glaciare (fig. X.19).

— *Aureolele eluviale* se formează „în situ" în regiuni cu relief puțin accidentat. Zona anomală este restrînsă ca extindere, are o poziție simetrică față de zăcămînt, iar concentrațiile maxime se situează chiar deasupra sursei primare. Au fost utilizate pentru detectarea unor concentrații de aur, casiterit, wolframit, ceruzit ș.a.

— *Aureolele deluviale* și *proluviale* rezultă prin deplasarea pe mici distanțe a materialului dezagregat, el concentrîndu-se pe pantă, de unde și forma alungită a acestor anomalii; concentrațiile maxime se află, prin urmare, în aval de poziția corpului de minereu, considerat ca sursă primară.

— *Aureolele aluvionare* iau naștere în urma transportului pe distanțe mai mult sau mai puțin lungi față de sursa primară, a sortării și depunerii materialului inițial de către apele rețelei hidrografice; ele se caracterizează printr-o formă liniară. [illegible]

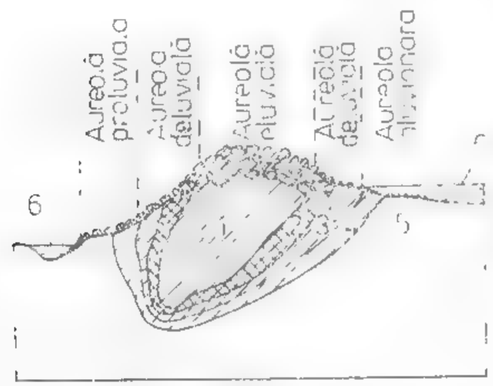


Fig. X.19. Aureole de dispersie secundară mecanică

— [illegible] aureolă geochimică primară; 5 — [illegible]

cipiu, sursa primară a acestor aureole este localizată în apropiere de cota cea mai [illegible] cată pînă la care s-a detectat aureola geochimică de a lungul unei văi.

Aureolele glaciare constituie zone de dispersie în apropierea zăcămintelor sau aureolelor primare antrenate de ghețari. De regulă au forma de evantai și ca extindere nu depășesc 1—2 km, în medie. În Scandinavia au fost conturate aureole glaciare ale unor zăcăminte de Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, iar în Canada ale unor importante concentrații de Fe.

Aureolele hidrogeochimice apar ca urmare a trecerii mineralelor instabile [illegible] din apoase sau suspensii coloidale, sub acțiunea apelor de infiltrație supergenă sau [illegible] din pînza freatică. Extinderea lor depinde de capacitatea de migrare a elementelor în soluție, iar forma este de regulă liniară. Identificarea lor se face pe baza conținutului de SO^{-2}, de Cl^{-}, a diferitelor elemente metalice și a *p*H-ului.

Aureolele pedogeochimice rezultă din solubilizarea unor minerale și migrarea elementelor în sol. Dezvoltarea lor este determinată de natura, compoziția și textura solului, de valoarea *p*H-ului, de climă, de activitatea biologică, de relief etc. Ele iau naștere deasupra mineralizațiilor, au extinderi mari și prezintă în general un contrast puternic. În mod obișnuit, aureolele de dispersie din soluri pun în evidență o suprapunere a celor două tipuri de aureole pedogeochimice, singenetice și epigenetice, care se caracterizează printr-o accentuare a contrastului dintre fond și anomalii.

Cele mai multe aureole de dispersie secundară în soluri, identificate la noi în țară, sînt de tip singenetic (ex. în Munții Țibleș, în Munții Drocea, în Munții Poiana Ruscă la Muncelul Mic).

Aureolele biogeochimice sînt legate de plantele care se dezvoltă pe aureole primare sau secundare din roci, ape și sol, formate în jurul corpurilor de substanțe minerale utile, care pot încorpora anumite elemente metalice (V, Cr, Mn, Co, Ni, [illegible] Zn, Pb, U, Au) în proporții mult mai mari decît plantele din zone fără mineralizații. Acumularea elementelor de către plante poate conduce, în unele cazuri, la concentrații

excesive care să provoace apariția unor aspecte patologice (teratologice): dezvoltări anomale, modificarea culorii frunzelor, abundența unor specii sau dispariția altora etc. Aceste aspecte reprezintă premise pentru prospecțiunea geobotanică și pentru prospecțiunea biogeochimică.

În general aureolele secundare au extindere mai mare în suprafață decît aureolele primare și, deci, pot fi mai ușor identificate și conturate prin lucrări de prospecțiune geochimică. Pentru localizarea corpurilor mineralizate sînt, însă, necesare cercetări minuțioase, deoarece conținutul în elemente chimice este mult mai variabil decît în cazul aureolelor primare. În cadrul aureolelor secundare se pot distinge: *aureole semnificative* cu concentrații mari sau concentrații reduse — care au o legătură cu sursa mineralizată și *aureole nesemnificative*, care nu au relații cu zone mineralizate și se datoresc contaminărilor, erorilor în colectare și analize etc.

Interpretarea aureolelor de dispersie trebuie făcută în strînsă corelație cu observațiile geologice. Identificarea aureolelor suprapuse, separarea celor semnificative de cele nesemnificative, ca și selecționarea celor de interes practic, cu perspective de a identifica corpul de minereu sursă, asigură elaborarea unui program de cercetare cu lucrări minere sau de foraj.

1.2. INDICATORI ÎN PROSPECȚIUNEA GEOLOGICĂ

Informații privind existența unor concentrații de substanțe minerale utile, într-o anumită structură geologică, se pot obține prin intermediul: 1) *indicatorilor naturali*, care au la bază elemente legate atît de cortegiul de fenomene metasomatice, imprimate în rocile înconjurătoare în momentele formării concentrațiilor de substanțe minerale utile, cît și de evoluția ulterioară a acestor concentrații, sub acțiunea proceselor de alterație, cînd rezultă aureolele de dispersie secundară; 2) *indicatorilor proveniți din alte surse*, cum sînt documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică, privind activitatea geologică și minieră în trecut sau chiar existența unor ocurențe de mineralizații în regiunea ce urmează a fi prospectată.

1.2.1. INDICATORI NATURALI

Acestia pot oferi informații directe sau indirecte asupra prezenței unor substanțe minerale utile în regiunea în care se execută lucrări de prospecțiune, în funcție de gradul de înrudire a elementelor examinate cu corpul de minereu.

Informațiile directe sînt date de: aflorimentele de substanțe minerale utile; zonele de oxidare ale corpurilor de substanțe minerale utile; fragmentele cu minerale utile, concentratele de minerale grele; mîlurile din albia cursurilor de ape; izvoarele de ape minerale.

Aflorimentele de substanțe minerale utile sînt primele informații și cele mai [illegible] referitoare la existența unor concentrații de substanțe minerale utile.

Zonele de oxidație ale corpurilor de minereuri constituie surse de indicații [illegible] te prin aspectele texturale, compoziția mineralogică, compoziția chimică și culoarea pălăriilor de fier.

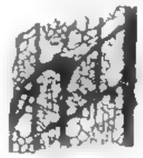
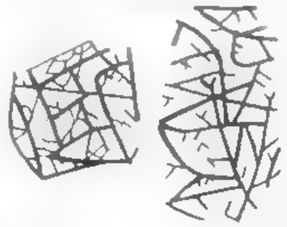
Aspectele texturale ale pălăriilor de fier, extrem de variate, sînt caracteristice [illegible] tru recunoașterea tipurilor de minerale primare care au fost transformate în zona de oxidație (tabelul X.2); frecvența vacuolelor pălăriei de fier poate oferi o primă

Tabelul X.2

Aspecte texturale ale pălăriei de fier

Mineralul primar	Textura	Caracteristici
1	2	3
		Pereții laterali sînt rectilinii, paralelii, urmăresc liniile de clivaj ale galenei și sînt constituiți din limonit silicios; perpendicular pe acest sistem apar lamele paralele și discontinue, care nu depășesc 1 mm lungime; grosimea pereților este de 0,05—0,5 mm
Galenă		Pereții laterali sînt divergenți
		Pereții au o dispoziție radiară
Blendă		Aspectul unui burete

Tabelul X.2 (continuare)

1	2	3
		Pereții laterali sînt constituiți din vinișoare de cuarț, uneori cu pigment limonitic, dispuse în fascicule paralele; legătura dintre pereții laterali se face prin diferite sisteme de lamele
Calcopirită		Asemănătoare cu ale blendei; lungimea pereților redusă, vinișoarele de cuarț sînt paralele, iar pereții transversali sînt mai puțin rezistenți; depuneri de limonit pe pereți și în vacuole
Bornit		Vacuolele au formă triunghiulară (1—10 mm) și conțin limonit; grosimea pereților este de 0,05—0,5 mm
Tetraedrit		Pereții sînt continui și rezistenți; forma generală amintește de curbele de nivel ale unui relief accidentat
Molibdenit		Pereții au aspectul unor foițe care urmăresc clivajul după fața de pinacoid

imagine privind raportul dintre mineralele metalice și nemetalice (ganga) aflate în zona primară a corpului de minereu.

Unele minerale metalice primare dintr-un corp de minereu se pot conserva chiar la nivelul zonei de oxidație, evitînd alterația, datorită depunerii de minerale secundare pe suprafața lor; este cazul galenei, care poate fi protejată de o crustă de anglezit sau ceruzit. Identificarea unor astfel de minerale oferă indicații directe asupra tipului de mineralizație existentă în zona primară. Informații, în acest sens, pot da și mineralele secundare tipomorfe, formate în cuprinsul zonei de oxidație. Astfel, depunerile de annabergit și eritrină trădează, aproape fără excepție, existența arseniurilor de cobalt și nichel în adîncime, în zona primară; prezența malachitului, azuritului, cupritului, tenoritului sau calcantitului indică o mineralizație primară de sulfuri de cupru. Tipul de mineralizație existent în zona primară a unui corp se poate preciza și pe baza analizelor chimice sau spectrale, executate pe bucăți de minereu prelevate din zona de oxidație.

Culorile mineralelor oxidate, din zona de afloriment (tabelul X.3), permit recunoașterea și conturarea pălăriei de fier, identificarea mineralelor secundare, tipomorfe și, prin acestea, a paragenezelor de minerale metalice din zona primară a corpului de minereu; conturarea pălăriei de fier este ușurată nu numai de contrastul de culoare față de formațiunile înconjurătoare, dar și de larga sa extindere în suprafață, mai mare decît a corpului de minereu, ca urmare a dispersiei puternice a elementelor în timpul procesului de oxidare.

— **Fragmentele cu minerale utile** din aureolele de dispersie mecanică, provenite prin alterația supergenă a corpurilor de substanțe minerale utile, dau informații directe asupra tipului de mineralizație, prin examinarea paragenezelor de minerale, ca și asupra

Tabelul X.3

Culorile pălăriilor de fier

Culoarea	Minerale oxidate	Culoarea	Minerale oxidate
Galben, brun, maro, roșu	Mineralele limonitice, sulfați	Verzui	Annabergit, garnierit
Verde, albastru	Carbonați, sulfați, silicați	Galben	Bismutit
Negru	Oxizi și hidroxizi de mangan	Galben deschis	Molibdenit, wulfenit
Roz	Eritrină	Galben portocaliu	Cervantit, senarmontit
		Galben deschis, roșu	Plumbojarosit

distanței pînă la afloriment. În acest din urmă caz, se examinează dimensiunea și aspectul exterior al fragmentelor; în apropiere de afloriment se depun fragmentele grosiere și cu greutate specifică mare, pentru ca acelea transportate la distanțe mai mari

să fie rotunjite și cu dimensiuni mai mici (fig. X.20). Dacă se determină *coeficientul de rotunjire* (k) al fragmentelor de minereu, se poate aprecia distanța pînă la afloriment.

$$k = \frac{R}{r},$$

unde: R este raza de curbură maximă a fragmentului; r — raza de curbură minimă a fragmentului.

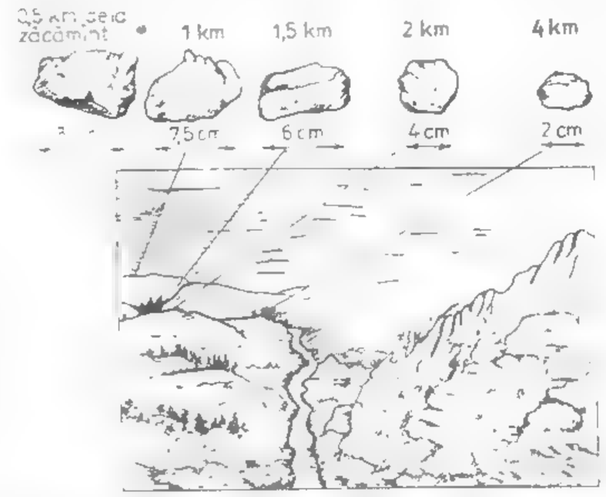


Fig. X.20. Aspectele fragmentelor de minereu transportate la diferite distanțe de afloriment.

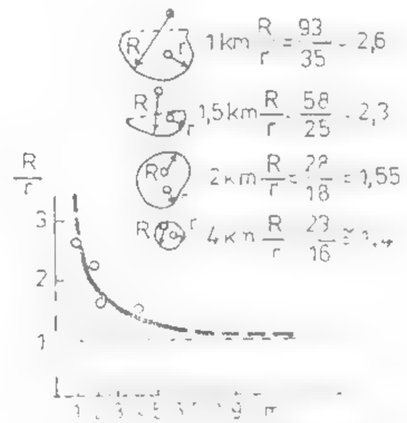


Fig. X.21. [illegible] de [illegible] (r)

Variația coeficientului de rotunjire, în funcție de distanța la care au fost transportate fragmentele de minereu, este redată ca exemplu în fig. X.21; se observă [illegible] fragmentelor de a deveni sferice, la distanțe mari de afloriment, cînd valoarea coeficientului se apropie de unitate.

Concentratele de minerale grele, obținute prin prelucrarea probelor prelevate din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, eluviale), oferă două categorii de indicații: *directe*, prin mineralele metalice identificate în concentrat (aur, platină, magnetit, ilmenit, zircon, monazit, cromit, diamant etc.) și *indirecte*, pe baza mineralelor nemetalice, tipomorfe, determinate în concentrat (de exemplu beril, turmalină și topaz care pot indica mineralizații de staniu și wolfram).

Mîlurile din albia cursurilor de ape pot fi indicatoare prin proprietatea lor de a reține unele elemente (Pb, Cu, Co etc.), prin sorbție sau schimb de ioni, mobilizate din corpurile de minereuri levigate. În componența mîlurilor apar și asociații de minerale secundare (malachit, ceruzit, psilomelan, minerale limonitice etc.), antrenate de zonele de oxidație ale zăcămintelor primare de către apele curgătoare, [illegible] și alte [illegible] rsă de informații cu privire la existența unor mineralizații în regiune.

Izvoarele de ape minerale și chiar **apele din cursurile rîurilor** sînt indicatoare uneori prin conținutul ridicat în componenți metalici, ca urmare a levigării unor corpuri de minereuri sau a aureolelor de dispersie ale acestora. În general, se consideră

că conținuturile mai ridicate în anumite elemente, față de fondul hidrogeochim[illegible] valorile mai scăzute ale *p*H-ului și valorile mai mari ale ionului sulfat în raport [illegible] ale ionului de clor ar indica apropierea de zona mineralizată.

Informațiile indirecte sînt oferite de: metasomatitele din jurul corpuri[illegible] de minereuri; plantele indicatoare; aspectele patologice ale plantelor; unele forme de [illegible] relief.

Aureolele de metasomatite din jurul corpurilor de minereuri au o [illegible] deosebită pentru prospecțiunea geologică, ele constituind un indicator metalog[illegible]. Dintre metasomatitele cu rol indicator menționăm: skarne și periskarne, gr[illegible]sene, luxulianite, albitite și metasomatite cu feldspat potasic și biotit, cu care se a[illegible] mineralizații pirometasomatice și hidrotermale de temperatură ridicată; metas[illegible] filice (cuarț [illegible] sericit), uneori cu aspectul lor particular de berezite, cuarțite se[illegible] și jasperoide, metasomatite argilice, metasomatite cu clorit, metasomatite cu [illegible] metasomatite cu barytină, metasomatite cu alunit, listvenitite și metasomatit[illegible] natice, însoțite de mineralizații hidrotermale de temperatură medie și scăzută [illegible] produse metasomatice sau depuneri la nivelul fisurilor (ca de exemplu acele[illegible] de propilitizare, spilitizare, serpentinizare, zeolitizare) pot avea extinderi regi[illegible] și preced sau succed, ca moment de apariție, procesul de metalizare; ele nu [illegible] indicatori metalogenetici.

Primele metasomatite sînt surse de informații asupra existenței unor m[illegible]zații în structura geologică prospectată, prin mineralele tipomorfe pe care le [illegible] (tabelul X.4). Distribuția zonală a variatelor tipuri de metasomatite, pentru ca[illegible] mineralizații manifestă anumite preferințe, completează elementele de inform[illegible]

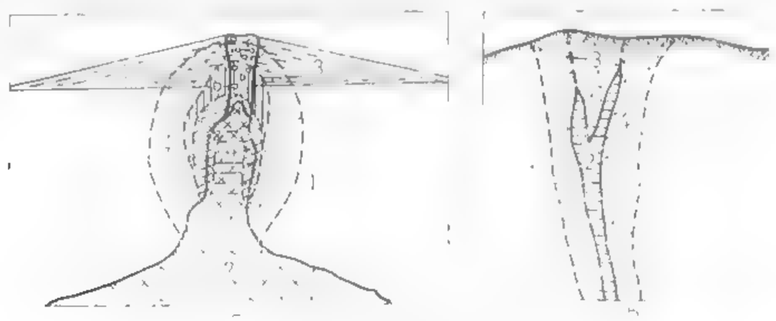


Fig. X.22. Distribuția zonală a metasomatitelor

a — în cazul unor mineralizații de tip „porphyry": *1* — formațiuni [illegible] urătoare; *2* — stoc de granodorite porfirice; *3* — stratovulcan; *4* — meta[illegible]omatite potasice (neoformațiuni de feldspat potasic și de biotit); *5* — meta[illegible]omatite filice; *6* — metasomatite argilitice; *7* — metasomatit[illegible] (după Sillitoe, 1973, cu modificări);

b — în cazul unor mineralizații filoniene: *1* — formațiuni neconjurătoare propilitizate; *2* — filon; *3* — fractură în extinderea filonului, fără mineralizație; *4* — alteratii hidrotermale filice, formate pe un fond de roci propilitizate

acest sens; o astfel de imagine obținută prin studii de detaliu permite a [illegible] prognoza modificărilor calitative pe verticală sau o dezvoltare în adîncime a u[illegible] mit tip de mineralizație (fig. X.22).

Plante indicatoare sînt acele plante a căror dezvoltare într-o anumi[illegible]ste controlată de prezența unor mineralizații. Identificarea acestor plante [illegible] o primă indicație pentru recunoașterea zonelor mineralizate. Dintre pla[illegible]

toare reținem *Polycarpaea spirostylis* și *Melandrium dioicum* pentru cupru; *Viola calaminaria*, *Viola tricolor*, *Thlaspi calaminare*, *Tomanteria auriculata* pentru zinc; *Amorpha canescens* pentru plumb; *Equisetum arvense* pentru aur; *Astragalus pattersoni* pentru vanadiu și uraniu.

Tabelul X.4

Unii indicatori metalogenetici

Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații	Tipuri de metasomatite	Tipuri de mineralizații
1. *Greisene*	Fe, Sn, W, Mo, Bi, Pb, Zn, Cu, Au	5. *Minerale tipomorfe din greisene:*	
2. *Minerale tipomorfe din skarne:*		Topaz și turmalină	Sn
		Turmalină	Sn și sulfuri
		Fluorină	W
		Muscovit și fluorină	Mo
Andradit	Fe, Pb, Zn, Co	6. *Metasomatite filice metasomatite cu feldspat potasic și biotit*	Cu (Mo, Au) tipul *porphyry*
Andradit-grosular	Cu, W		
Grosular	W		
Grosular și vezuvian	Mo, W	7. *Berezite*	Au
Wollastonit	Bi	8. *Cuarțite secundare*	Cu, Au-Ag în roci eruptive sau Au tip *Carlin* în asociație cu As, Sb, în roci carbonatice
Mn-hedenbergit	Pb, Zn, Cu		
Ludwigit, kotoit, asharit	B		
3. *Greisene*	Sn, W		
4. *Pegmatite*	Zr, Nb, TR, Th	9. *Metasomatite cu baritină*	Pb, Zn, baritină, witherit
		10. *Jasperoide*	Pb, Zn sau Sb, Hg
		11. *Listvenite*	Cu, Au

Aspectele patologice ale plantelor (plante pitice, plante gigantice, dispariția vegetației, frecvența mare a unor specii de plante, modificarea culorii frunzelor etc.), determinate de prezența sau absența unor ioni în roci și în sol, reprezintă de asemenea elemente indicatoare pentru recunoașterea unor zone cu mineralizații. Astfel, dacă într-o regiune cu formațiuni identice și cu o vegetație specifică apar modificări vizibile în modul de dezvoltare a unor plante, acestea pot sugera existența unor concentrații de substanțe minerale utile în structura geologică prospectată ca element perturbant de [illegible] aspectul normal.

Unele forme de relief atrag atenția, prin modul lor de prezentare, asupra anumit[illegible] zone posibil purtătoare de mineralizații. Este cazul *formelor de relief pozitive* date de [illegible]rpurile de minereuri cu rezistență mai mare la alterația supergenă decît rocile

înconjurătoare, ca, de exemplu, filoanele cuarțoase hidrotermale, filoanele de [illegible]matite, cuarțitele secundare, adesea mineralizate, cuarțitele cu magnetit (fig. X.23). În situații similare se află și *[illegible] de relief negative* produse prin eroziunea mai a[illegible]sată a unor corpuri de minereuri față de rocile înconjurătoare (fig. X.24) sau prin tasări,

Fig. X.23. Formă de relief pozitivă produsă prin eroziune.

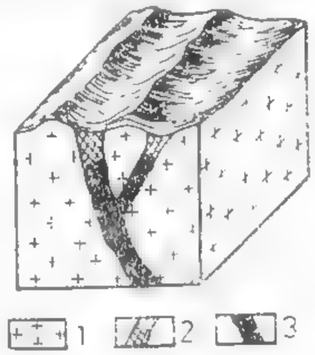


Fig. X.24. Formă de relief negativă produsă prin eroziune:
1 — granite; *2* — minereu oxidat; *3* — minereu primar.

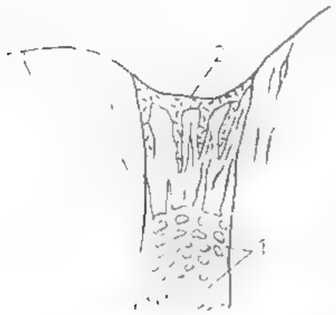


Fig. X.25. Formă de relief negativă produsă prin prăbușire locală
1 — minereu oxidat în partea superioară a unui filon cu sulfuri ned[illegible]bus de eroziune; *2* — zona superioară rezultată prin prăbușire ca urmare a oxidării minereului

chiar prăbușiri locale (fig. X.25), ca urmare a fenomenelor de oxidare a sulfu[illegible] ca și a existenței unor cavități subterane legate de procesul de dizolvare a roc[illegible] carbonatice de către apele de circulație subterană.

1.2.2. INDICATORI PROVENIȚI DIN ALTE SURSE

Documentațiile geologice, muzeele geologice și populația localnică dau, asupra unei regiuni, informații privind activitatea geologică și minieră în trecut, unele ocurențe de mineralizații și gradul lor de cercetare. În acest sens, datele obținute prin astfel de surse sînt examinate pe teren, urmărind îndeaproape elementele care le pot ofe[illegible] lucrările miniere vechi cu haldele lor, urmele de furnale și chiar semnificația [illegible] unor localități, văi, dealuri și trecători, desigur, în strînsă corelație cu geologia reg[illegible].

Lucrările miniere vechi (șanțuri, puțuri, galerii) și haldele lor, existente [illegible] referitele planuri din documentațiile geologice, pot oferi o serie de informații [illegible] mineralizații cercetate în trecut într-o anumită regiune.

Astfel, din dispunerea în spațiu a lucrărilor de cercetare, corelată cu imaginea structurală a regiunii, se pot obține următoarele date asupra unui filon sau corp de minereu, alungit: direcția și înclinarea (fig. X.26); dislocarea pe direcție prin inter-

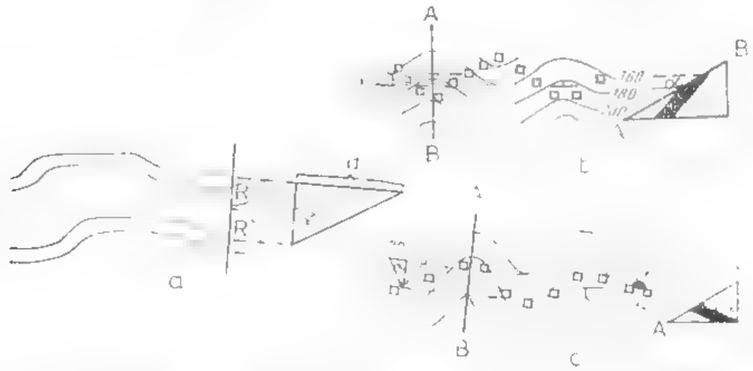


Fig. X.26. Determinarea direcției și înclinării unor filoane pe baza a două galerii săpate la nivele diferite (*a*) sau a unor aliniamente de puțuri orientate diferit în spațiu (*b* și *c*):
d — distanțele verticale între cele două nivele de galerii; *α* — unghiul de [illegible]linare al filonului

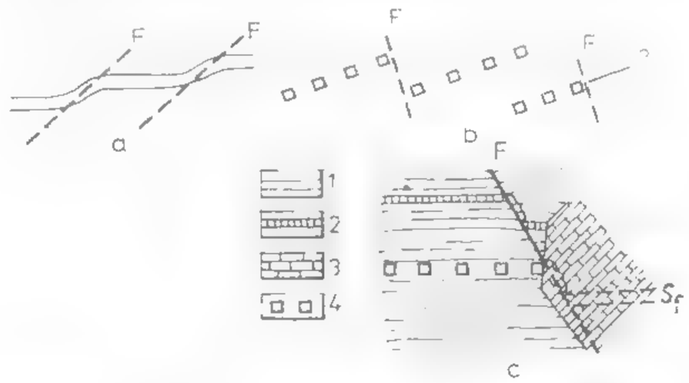


Fig. X.27. Identificarea unor falii urmărind modificarea direcției unor galerii (*a*) sau dispunerea în spațiu a unor linii de puțuri de cercetare (*b* și [illegible]
1 — formațiuni cristalofiliene; *2* — [illegible] pentru identificarea faliei; *3* — formațiuni carbonatice mezozoice; *4* — puțuri dispuse pe aliniamente pentru cercetarea [illegible] de filon deplasat prin intermediul faliei și acoperit de roc[illegible] [illegible]; *F* — falie

mediul unor falii (fig. X.27), existența unor porțiuni sterile pe direcția filonului sau corpului de minereu (fig. X.28); terminația prin ramificare sau dislocare pe o anumită porțiune, urmată de posibilitatea reapariției corpului de minereu (fig. X.29).

Din poziția haldelor și a gurilor de galerii, corelată cu aspectele morfologice ale [illegible] și cu caracterele mineralogice ale fragmentelor de minereu și roci din halde

rezultă informații asupra direcției și înclinării (fig. X.30) unui filon, dislocării acestuia de către o falie (fig. X.31) și existenței unei zone de oxidație (fig. X.32); se poate reconstitui necesiunea rocilor traversate de o galerie, ca și poziția mineralizației în coloana litologică (fig. X.33).

Raportul dintre profilul galeriilor și dimensiunile haldelor oferă indicații referitoare la grosimea zăcămîntului: lucrările miniere cu profil mic și cu halde de dimen-

Fig. X.28. Identificarea unor porțiuni sterile pe direcțiile filonului urmărind dispunerea în spațiu a puțurilor de cercetare (după Kuzvart și Böhmer, 1978, cu completări):

1 — puțuri care au interceptat corpul de minereu; *2* — puțuri care indică porțiuni sterile; *3* — extinderea zonei sterile.

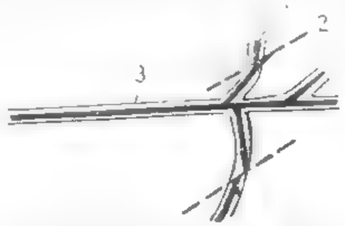


Fig. X.29. Recunoașterea unei terminații prin ramificare sau a unei dislocări cu căracter local a corpului de minereu, urmărind aspectul general al unei galerii:

1 — filon; *2* — falie; *3* — galerie.

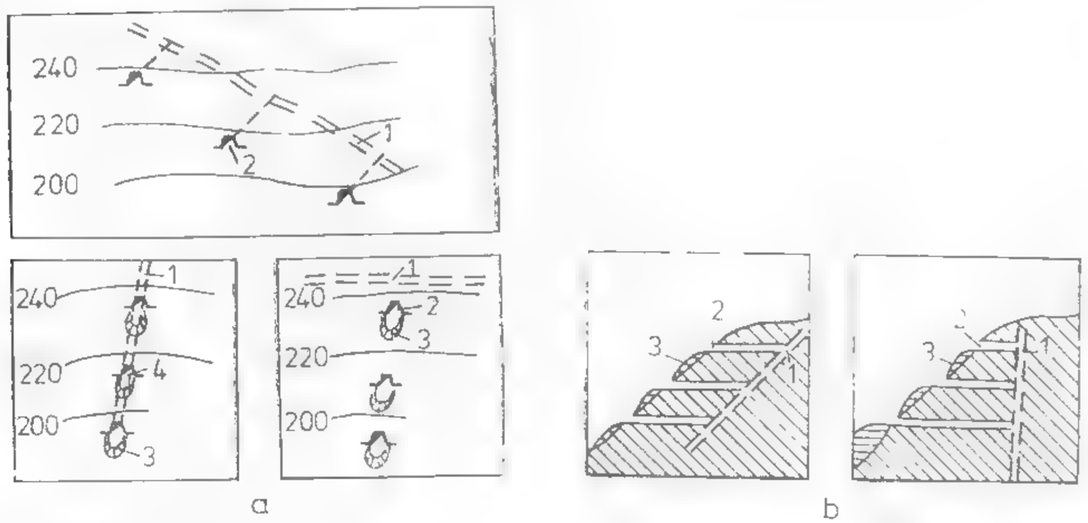


Fig. X.30. Recunoașterea orientării unui filon urmărind poziția haldelor și galeriilor:

a — plan orizontal de suprafață cu amplasamentul galeriilor și direcția filonului; *b* — secțiune verticală în care se văd galeriile transversale și înclinarea filonului

1 — filon; *2* — galerii transversale; *3* — haldă; *4* — galerii direcționale de coastă.

siuni mari, constituite în cea mai mare parte din steril, indică un zăcămînt cu grosime redusă sau eventual un minereu cu un conținut scăzut, în componenți utili; lucrările

miniere cu profil mare și cu halde de dimensiuni mici, în care mineralizația este abundentă, denotă un corp de minereu cu grosime importantă și cu conținut ridicat în componenți utili.

Urmele de furnale, care apar mai ales în apropierea zăcămintelor, constituie un mijloc sigur de a obține informații referitoare la natura substanțelor minerale utile

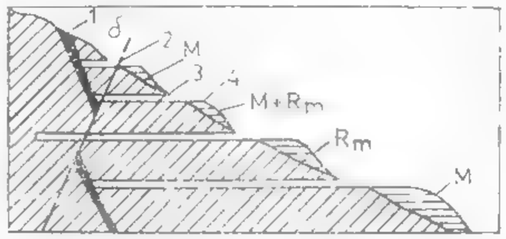


Fig. X.31. Recunoașterea unei falii care dislocă un filon, urmărind dispunerea fragmentelor de minereu și a rocilor mineralizate în halde (după Kuzvart și Böhmer, 1978)

1 — filon; *2* — falie; *3* — galerie transversală; *4* — haldă cu fragmente de minereu (*M*) și roci [illegible] mineralizate (R_m).

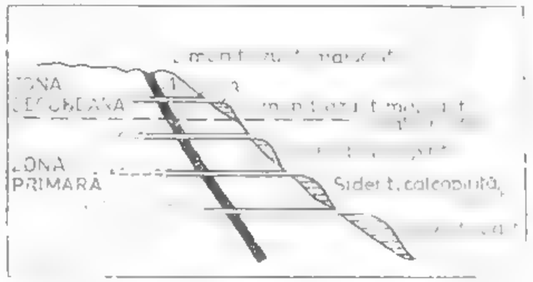


Fig. X.32. Recunoașterea unei zone de oxidație pe baza caracterelor mineralogice ale fragmentelor de minereu (după Kuzvart și Böhmer, 1978)

1 — filon; *2* — galerie transversală; *3* — haldă cu fragmente de minereu

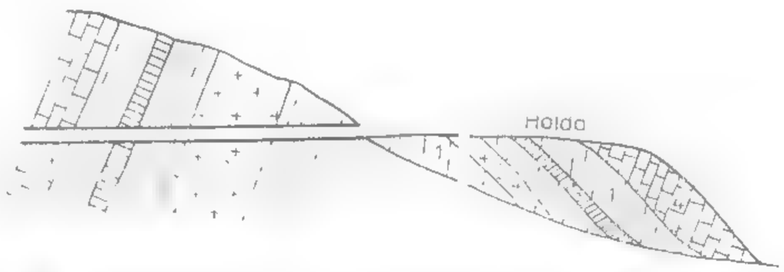


Fig. X.33. Reconstituirea succesiunii rocilor traversate de o galerie pe baza compoziției mineralogice a fragmentelor de minereu și roci din haldă

1 — [illegible] *2* — [illegible]; *4* — roci carbonatice

[illegible] au fost exploatate în trecut în regiune. Prin compoziția mineralogică și chimică [illegible] zgurii rezultate se poate prezuma caracterul mineralizației și modul de prelucrare a minereului.

Unele denumiri de localități, văi, dealuri și trecători sugerează fie existența unor exploatări vechi, fie anumite tipuri de substanțe minerale utile, cunoscute în trecut în regiunea care urmează a fi cercetată. Dintre aceste denumiri menționăm: Valea Fierului, Valea Roșie, Izvorul Băilor, Pîrîul Argintăriei, Bălta, Luna Băiut, Roșia [illegible]

1.3. METODE GEOLOGICE DE PROSPECȚIUNE

Metodele geologice sînt utilizate în prospectarea resurselor de substanțe minerale utile aflate în variate condiții geologice, dar mai ales a acelora deschise de eroziune.

În funcție de natura observațiilor se pot distinge următoarele metode geologice de prospecțiune:

— prospecțiunea prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale;

— prospecțiunea prin cartare geologică pe baza fragmentelor cu minerale utile;

— prospecțiunea prin cartare geologică pe baza concentratelor de minerale grele.

Elementul comun al acestor metode de prospecțiune este cartarea geologică, prin intermediul căreia se elaborează harta geologică, instrument de bază pentru interpretarea geologică a datelor de prospecțiune și, sprijinită de studiile de laborator, pentru conturarea conceptelor necesare cunoașterii perspectivelor și evidențierii unor substanțe minerale utile în structura geologică prospectată.

1.3.1. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ ÎN DESCHIDERI NATURALE ȘI ARTIFICIALE

Lucrările de prospecțiune efectuate prin cartare geologică în deschideri naturale și artificiale (dezveliri, șanțuri, tranșee, puțuri de mînă etc.) au ca obiectiv principal descifrarea structurii geologice și, prin urmare, a condițiilor geologice favorabile unor concentrații de substanțe minerale utile. În acest scop, cartarea geologică se execută pe hărți topografice la scara 1:25 000—1:20 000 în prospecțiunea preliminară și la scara 1:10 000—1:1 000 în prospecțiunea de detaliu.

Efectuarea cartării geologice. În cartarea geologică se urmărește cu prioritate descifrarea structurii geologice prospectate și identificarea formațiunilor purtătoare de substanțe minerale utile. Pentru aceasta se examinează toate rocile întîlnite în deschiderile naturale și artificiale, stabilindu-se raporturile dintre ele, caracterele petrografice și chimice, conținutul faunistic, poziția stratigrafică și în special acele particularități care le deosebesc sau le apropie unele de altele. Se cercetează amănunțit stratificația rocilor sedimentare și a rocilor slab metamorfozate (filite, șisturi sericitoase, șisturi cloritoase, cuarțite etc.), pseudostratificația intruziunilor bazice și ultrabazice, relațiile dintre planul de șistozitate și planul de stratificație la rocile epimetamorfice, poziția planului de curgere a lavelor, poziția și natura enclavelor din intruziune sau lave, poziția și caracterele petrografice ale produselor piroclastice din complexele vulcanogene, ca și budinajul, clivajul, sistemele de fracturi și falii. În general astfel de investigații sînt dublate de analize microstructurale și microtectonice, care oferă elemente suplimentare pentru descifrarea structurii geologice.

În paralel cu cartarea geologică se examinează cu atenție elementele care dau indicații directe asupra existenței unor concentrări de substanțe minerale utile (v. 1.2. Indicatorii în prospecțiunea geologică). De regulă, concentrațiile de minerale utile sînt localizate pe planele de foliație și de fisuratie din corpurile eruptive, bazice și ultrabazice, pe planele de stratificație și de șistozitate ale rocilor sedimentare și metamorfice, pe variate sisteme de fracturi și la intersecția acestora, în rocile cu per-

meabilitate mare și în zone de capcană, în care procesele de metasomatoză și de umplere a golurilor sînt active, în zonele de exfoliere a cutelor etc.

Datele cartografice bazate pe observațiile directe în deschideri naturale și artificiale și completate cu studiile de laborator, se reprezintă prin diferite simboluri pe harta topografică, conducînd în final la *harta geologică*. Cercetarea mai multor deschideri și întocmirea *coloanelor stratigrafice* sau *secțiunilor tip*, ca anexe ale hărții geologice, oferă o imagine asupra succesiunii stratigrafice și asupra variațiilor laterale privind litologia, intensitatea mineralizației și grosimea formațiunilor prospectate. Corelarea între diferitele strate sau chiar formațiuni purtătoare de substanțe minerale utile se realizează pe baza caracterelor petrografice, fosilelor caracteristice și poziției față de un orizont reper dintr-o succesiune stratigrafică; în cazul cînd nu există alte elemente indicatoare, corelarea devine posibilă pe baza asociației de elemente minore sau pe baza datelor de cronometrie absolută.

Luarea probelor. În paralel cu cercetarea deschiderilor naturale și artificiale se prelevează probe mineralogice, petrografice și chimice, necesare investigațiilor de laborator în scopul fundamentării interpretărilor geologice de teren; este o operație integrată cartării geologice.

Probele mineralogice și *petrografice* se iau în așa fel, încît să cuprindă asociațiile caracteristice de minerale din rocă sau mineralizația respectivă. Obișnuit se recoltează o probă mai mică pentru o secțiune subțire sau lustruită și una mai mare, care reprezintă proba martor. Din rocile sedimentare se prelevează și probe pentru analize granulometrice și paleontologice.

Probele chimice se iau din roci, în vederea studiilor petrochimice, și din mineralizațiile identificate, pentru stabilirea conținutului în componenți utili, principali și accesorii. În acest din urmă caz se iau *probe informative* (cu bucata), *probe prin brazde* sau *probe prin răzuire*, în funcție de caracterele texturale ale mineralizației (masiv, brecios, rubanat, impregnații, cuiburi, rețea de filonașe), de caracterul repartiției componenților utili și extinderea zonei mineralizate.

Probele informative reprezintă bucăți de minereu sau de rocă cu minerale utile desprinse din diferite puncte ale aflorimentului sau deschiderii artificiale; greutatea acestora va fi de cîteva sute de grame. Probarea prin brazde constă din luarea unei cantități de material de-a lungul unui șanț orientat perpendicular pe zona mineralizată; lățimea șanțului va fi de circa 7 cm, iar adîncimea de 2—5 cm. Cantitatea de material prelevat se fărîmițează, se amestecă și apoi se reduce prin metoda sfertuirii; operația se repetă pînă cînd se obține o cantitate de cîteva sute de grame, necesară analizei de laborator. În probele luate prin răzuire intră întreg materialul detașat de pe suprafața mineralizată a deschiderii naturale sau artificiale; adîncimea de răzuire este de 3—5 cm, mai rar 10 cm, iar greutatea inițială a probei depinde de suprafața și adîncimea de răzuire.

Dacă probarea prin brazde se utilizează în cazul mineralizațiilor cu cele mai variate aspecte texturale și morfologice, ca și în cazul haldelor existente în regiunea prospectată, în schimb probarea prin răzuire se aplică la concentrațiile de substanțe minerale utile cu o repartiție foarte neuniformă a componenților utili și la filonașele cu grosimi mai mici de 10 cm, indiferent de dispoziția lor în spațiu.

Întocmirea hărții geologice. Datele de teren conduc treptat la conturarea unităților cartografice (serii, complexe, orizonturi, corpuri eruptive etc.) și la trasarea limitelor dintre acestea pe harta topografică. Pe baza poziției stratificației, șistozității, liniației și axelor de microcute sînt reprezentate elementele structurale ale regiunii (anticlinalele, sinclinalele, falii, linii de șariaj). Ocurențele de substanțe minerale utile

vor fi redate pe hartă și corelate cu elemente structurale și cu formațiunile înrudite genetic sau asociate spațial.

Probele prelevate sînt studiate în laborator sub aspect mineralogic (optic, roentgenografic, analiză termică diferențială, microscopie electronică, spectrografie, microsondă electronică, fluorescență în raze X), petrografic și chimic, în vederea definitivării hărții geologice și explicării genezei formațiunii purtătoare de concentrații de substanțe minerale utile și structurii geologice a regiunii. Conținutul în componenți utili se determină prin analiza chimică a probelor cu mineralizații.

Rezultatele obținute în urma elaborării hărții geologice, a întocmirii coloanelor stratigrafice, secțiunilor geologice, schițelor, bloc-diagramelor și, prin urmare, a interpretării datelor geologice constau în următoarele

- identificarea unor concentrații de substanțe minerale utile;
- descifrarea structurilor geologice prospectate și aprecierea gradului de perspectivă a acestora privind existența unor substanțe minerale utile;
- conturarea zonelor în care urmează să se execute lucrări complexe de prospecțiune geologică, geofizică, geochimică și chiar geobotanică sau să se amplaseze lucrări miniere, uneori foraje, care să conducă la identificarea, în structurile geologice nedeschise de eroziune, a unor concentrații de substanțe minerale utile;
- interpretarea geologică a informațiilor obținute, prin utilizarea altor metode de prospecțiune.

1.3.2. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA FRAGMENTELOR CU MINERALE UTILE

Această metodă se bazează pe posibilitatea formării unor aureole de dispersie secundară ca urmare a acțiuni de dezagregare, transport și depunere la care sînt supuse zăcămintele de minereuri sau aureolele primare ale acestora.

În principiu, metoda constă în stabilirea frecvenței fragmentelor cu minerale utile din aureolele de dispersie mecanică (aluviale, deluviale, proluviale și glaciare) generate de corpurile de substanțe minerale utile, în scopul identificării și conturării zonelor în care apar zăcămintele *in situ*.

Cercetarea aluviunilor se realizează prin sfărîmarea cu ajutorul ciocanului a tuturor fragmentelor întîlnite și prin identificarea unor minerale utile (casiterit, cromit, magnetit etc.) sau a unor minerale indicatoare directe sau indirecte (beril, topaz, turmalină, ceruzit, anglezit etc.), privind existența în regiune a anumitor mineralizații.

După reperarea unor astfel de fragmente cu minerale utile se trece la stabilirea frecvenței acestora pe vale, în amonte și la conturarea aureolei dispersie mecanică. Dezvoltarea și persistența aureolelor aluviale depind de o serie de factori. Astfel, distanța de transport este direct proporțională cu viteza de curgere a apelor și înclinarea pantelor și invers proporțională cu dimensiunea materialului transportat și cu debitul apelor. În acest sens dimensiunile fragmentelor și gradul lor de rotunjire pot constitui o primă indicație asupra distanței pînă la afloriment, prin aceea că se consideră că zăcămîntul se va găsi în zona în care acestea sînt mai colțuroase, mai mari și mai numeroase, adică în imediata apropiere a limitei superioare a aureolei mecanice.

În cazul unor depozite deluviale, proluviale și eluviale prospecțiunea preliminară se realizează în același mod ca și pentru aluviuni; după identificarea fragmentelor cu minerale utile, se trece la urmărirea frecvenței acestora pe pantă în sus de-a lungul unor aliniamente cu echidistanță de 5—10 m, orientate perpendicular pe o direcție reper sau de bază.

Pe harta topografică se redau prin simboluri diferite, în punctele în care au fost găsite fragmentele respective, mărimea acestora și tipurile de minerale utile pe care le conțin. Pe baza acestor date se conturează aureola de dispersie mecanică.

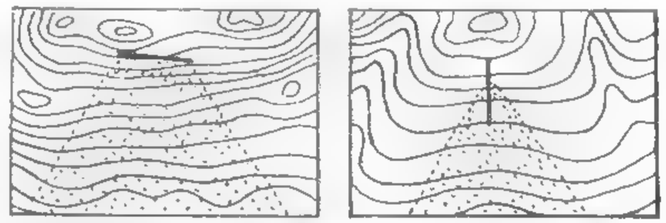


Fig. X.34. Forma aureolelor deluviale și proluviale

Aureolele deluviale și proluviale au forme trapezoidale, triunghiulare sau liniare mai mult sau mai puțin continue și cu o dezvoltare asimetrică în raport cu poziția sursei care le-a generat (fig. X.34).

Aureolele eluviale se dezvoltă pe suprafețe restrînse și, în general, simetrice față de corpurile mineralizate.

În cercetarea depozitelor glaciare o atenție deosebită este acordată morenelor frontale, laterale și de fund, care reprezintă zonele cele mai favorabile pentru identificarea de fragmente cu minerale utile. Frecvența acestora se urmărește în lungul unor profile sau aliniamente transversale pe direcția de deplasare a ghețarului, la intervale de 1—1.5 km.

Aureola glaciară delimitată pe harta topografică, pe baza punctelor în care s-au găsit blocuri cu minereu, prezintă, în general, forma unui evantai în al cărui vîrf se situează, de regulă, corpul de substanță minerală utilă.

În toate cazurile menționate, identificarea zăcămintelor în zonele indicate de prospecțiunea prin cartare geologică a fragmentelor cu minerale utile se va face prin executarea de dezveliri, șanțuri și puțuri. Amplasarea judicioasă a acestor lucrări impune efectuarea în prealabil, în aceste zone, a unei cercetări prin metode geofizice sau geochimice.

1.3.3. PROSPECȚIUNEA PRIN CARTARE GEOLOGICĂ PE BAZA CONCENTRATELOR DE MINERALE GRELE

Această metodă de prospectare geologică are în vedere determinarea frecvenței mineralelor grele în cadrul aureolelor de dispersie mecanică sau a depozitelor detritice formate pe seama zăcămintelor sau a aureolelor primare ale acestora. Ea poate evidenția pe de o parte existența unor concentrații detritice, iar pe de altă parte zonele care constituie sursa generatoare.

Mineralele rezistente la alterare sînt transportate, îndeosebi de ape, la distanțe mai mari sau mai mici față de sursă, în funcție de greutatea specifică și de dimen-

siunea acestora, precum și de viteza agentului de transport. Dacă primele două elemente prezintă valori mai ridicate, acumularea mineralelor se va realiza în apropierea aflorimentelor din care au provenit prin dezagregare. În cazul în care aceste elemente au valori mai scăzute, depunerea mineralelor se va face mult mai departe de aflorimente, în zonele unde au loc modificări ale vitezei de curgere a apelor (confluențe, meandre etc).

În stadiul prospecțiunii preliminare se urmărește identificarea principalelor zone cu astfel de aureole de dispersie mecanică și a unor indicații privind existența mineralizației. Totodată se examinează asociațiile de minerale indicatoare care, printre ale tele, pot contribui la elucidarea unor procese petrogenetice și metalogenetice, precum și a adîncimii optime de recoltare a probelor.

În stadiul prospecțiunii de detaliu se conturează cît mai exact aureolele mecanice, astfel încît să se poată trage concluzii cu privire la posibilitatea de valorificare a acestora și la localizarea zăcămintelor.

Operațiile indispensabile acestei metode de prospecțiune sînt: probarea, examinarea concentratelor de minerale grele și întocmirea hărților.

Luarea probelor. Una din condițiile importante ale acestei operațiuni este ca punctele de probare să acopere în mod uniform suprafața prospectată. În cazul probelor cu caracter informativ, pentru depozitele aluviale, acestea se iau cu lopata, direct din albia rîurilor sau din gropi săpate la adîncimi cît mai mari. În situația unei cercetări sistematice, probele se colectează din șanțuri, puțuri și prin intermediul forajelor manuale amplasate pe aliniamente orientate perpendicular pe cursul rîului. Numărul de probe pe 100 km² variază în funcție de scara la care se face prospecțiunea (100—500 probe pentru 1: 50 000, 1 200—2 500 probe pentru 1: 10 000 etc.).

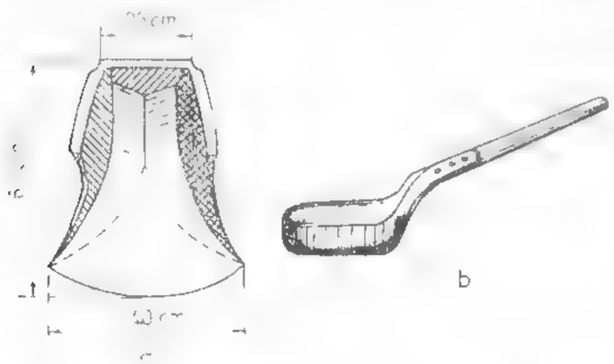


Fig. X.35. Șaitroc din lemn (*a*) și căuș de oțel (*b*).

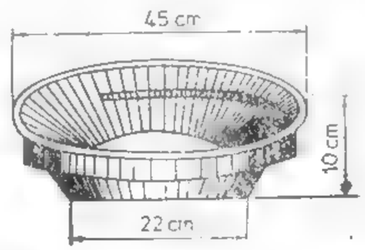


Fig. X.36. Troc Banka

Din depozitele deluviale, proluviale și eluviale, probele se colectează din gropi adînci de 30—50 cm, săpate la intervale de 25—50 m, pe aliniamentele distanțate la 100 m sau mai apropiate (10—20 m și respectiv 30—50 m), în cazul unor cercetări mai detaliate.

Probele prelevate se cîntăresc și apoi se spală cu ajutorul diferitelor tipuri de trocuri (șaitroc, căuș) cînd acestea nu depășesc greutatea de 2 kg (fig. X.35). Cantități mai

mari se pot spăla cu hurca, herdul sau trocul Banka (fig. X.36). Operația de spălare se execută în mai multe etape, pînă la obținerea concentratului de minerale grele în greutate de 10—15 g. În regiunile cu precipitații reduse se poate utiliza, pentru realizarea concentratelor de minerale grele, un curent de aer.

Examinarea concentratelor. Studierea concentratelor de minerale grele se face în laboratoare, unde probele sînt supuse unei selecții pe fracțiuni, în vederea stabilirii naturii mineralelo grele, a frecvenței acestora și a sursei de proveniență.

Inițial probele sînt analizate informativ prin metode spectrale, radioactive și în imersie; urmează analiza granulometrică pe baza căreia se realizează diferitele fracțiuni de minerale ce vor fi supuse la separări magnetice, electromagnetice și cu ajutorul lichidelor grele. Fiecare fracțiune este examinată la binocular sau la microscop, pentru a stabili compoziția mineralogică, paragenezele și frecvența mineralelor utile.

Întocmirea hărților. Datele rezultate din studiile de laborator se reprezintă pe un plan topografic la aceeași scară cu harta geologică, utilizînd metoda punctelor, metoda cercurilor sau metoda benzilor (fig. X.37).

În cazul primei metode locurile de probare sînt redate pe plan prin puncte, alături de care se trec inițialele mineralului util identificat; prin acest procedeu nu se pot obține informații referitoare la frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, *a*).

În cazul celei de a doua metode, locurile de probare sînt marcate pe plan prin cercuri cu diametre proporționale cu greutatea concentratelor de minerale grele; suprafețele acestora sînt divizate în sectoare, în funcție de numărul și frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, *b*).

Cea de a treia metodă presupune reprezentarea datelor sub forma unor benzi, lățimea acestora fiind direct proporțională cu frecvența mineralelor utile (fig. X. 37, *c*).

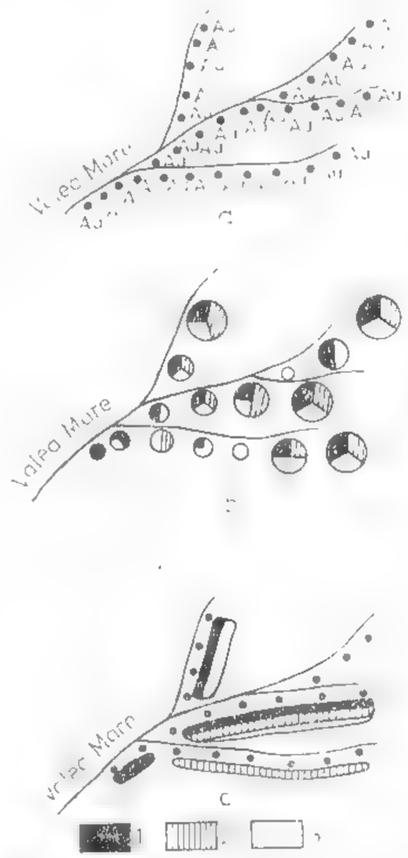


Fig. X.37. Reprezentarea datelor cartării geologice pe baza concentratelor de minerale grele:

a — metoda punctelor; *b* — metoda cercurilor; *c* — metoda benzilor; *1* — aur; *2* — casiterit; *3*—scheelit.

Ultimele două metode permit conturarea aureolelor de dispersie mecanică, pe baza cărora se pot delimita zonele de interes economic și localizarea surselor generatoare. În astfel de zone se execută dezveliri, șanțuri și puțuri. Pentru a spori eficiența acestor lucrări, amplasarea lor se va face după o prealabilă investigare geofizică și geochimică.

2. PROSPECȚIUNEA GEOFIZICĂ

În limbajul curent se identifică foarte frecvent activitatea geologică cu Geologia ca geoștiință. Aceste două noțiuni nu trebuie însă confundate deoarece prima are o sferă mult mai largă de conținut.

Geologia reprezintă geoștiința care pe baza studierii directe, nemijlocite, a rocilor și a raporturilor vizibile dintre formațiunile geologice, elaborează și stabilește ipoteze, concepte, teorii, regularități și legități cu privire la structura ascunsă a scoarței terestre, la evoluția acesteia în trecutul geologic, precum și la geneza, migrarea și acumularea în zăcăminte a materiilor prime minerale sau a purtătorilor de energie primară (combustibili fosili și hidrostructuri geotermale). Definitorie pentru geologie este asadar *informația directă*.

Acolo unde observația directă la suprafață nu este posibilă datorită faptului că structura geologică ce prezintă interes este mascată de formațiuni geologice sau de mase de roci cu raporturi de discordanță față de aceasta, intervin științele tehnice — forajul și minieritul — care oferă posibilitatea studierii geologice a probelor de roci aduse la suprafață prin carotajul mecanic al găurilor de sondă sau a observării directe în subteran a rocilor ori substanțelor minerale utile deschise prin lucrările miniere.

Pe măsură ce zăcămintele situate la adîncimi mici s-au epuizat sau sînt în curs de exploatare și a devenit necesară descoperirea celor situate la mari adîncimi, prin intrarea în incidența interesului a acumulărilor de substanțe utile din domeniul marin ca și în orice alte situații în care apar interdicții de o anumită natură care fac imposibilă observația geologică directă, devine necesară intervenția unei alte geoștiințe și anume a Geofizicii. Caracteristic acestei geoștiințe este *informația indirectă* asupra structurii geologice ascunse a subsolului și a bogățiilor minerale pe care ea le conține.

Această informație indirectă reprezintă de fapt un răspuns sau un mesaj de natură fizică a subsolului, ca rezultat fie a unui fenomen provocat de către geofizician în vederea studiului (introducerea unui curent electric în subsol, crearea unui cîmp de unde elastice etc.), fie a unui fenomen natural cum este gravitatea, geomagnetismul, radioactivitatea terestră, cîmpul geotermic etc.

Mijloacele de investigație, tehnicile de lucru și aparatura proprie cercetărilor geofizice s-au diversificat și rafinat continuu, așa încît astăzi aceste cercetări se pot efectua pe sol în orice regiune a Pămîntului, în mine și găuri de sondă, în aer, pe apă și pe fundul mării, cu alte cuvinte practic nu mai există condiții de lucru legate de relieful, clima sau învelișul Pămîntului care să fie restrictive, limitative sau ostile executării acestora.

Privind retrospectiv progresul de-a dreptul spectacular pe care l-a înregistrat această geoștiință în ultimele cîteva decenii, apare clar că la acesta au contribuit schimbările care au avut loc în lumea contemporană dintre care vom menționa ca mai importante următoarele trei:

Prima este legată de problema asigurării continue cu materii prime minerale, combustibili și energie, problemă care se ridică cu atît mai acut cu cît modelul de civilizație și de progres economic adoptat de majoritatea omenirii presupune un consum din ce în ce mai mare de astfel de resurse. Așa dar, un prim impuls al progresului în acest domeniu a provenit din necesitatea de a satisface „foamea de metal" a omenirii, de găsire de soluții pentru a preîntîmpina o eventuală penurie de energie și alte aspecte cu care este confruntată societatea umană contemporană.

Cea de-a doua este reprezentată de intrarea omenirii în era spațială. Pînă atunci frontierele tradiționale ale geofizicii incorporau investigații la suprafața solului sau la adîncimi mici de ordinul pînă la cîteva mii de metri, iar dezvoltarea ei se referea îndeosebi la studierea unor întinderi din ce în ce mai mari ale Pămîntului și la intensificarea gradului de detaliere a studiilor întreprinse. Posibilitățile noi oferite de determinarea din sateliți a cîmpurilor fizice terestre, introducerea teledetecției ca și a altor procedee noi de cercetare au lărgit considerabil frontierele acestei activități, deplasînd răspunsurile referitoare la structurile ascunse ale subsolului la cu totul alte nivele de profunzime decît cel devenit clasic, îmbogățind și diversificînd în ultimă instanță natura și conținutul geologic al informațiilor geofizice. În același timp, evoluția Geofizicii către Planetofizică din necesitatea determinării cîmpurilor de atracție, magnetic și radioactiv, seismicitatea și alte fenomene fizice, mai întîi a Lunii și apoi a unor planete, a dus la realizări sau adaptări de aparatură de măsurare cu performanțe din ce în ce mai ridicate; din această circulație în dublu sens, prospecțiunea geofizică a avut de cîștigat nu numai în ceea ce privește aparatura de măsurare și tehnica de lucru ci și din punctul de vedere al prelucrării și interpretării mărimilor măsurate.

În fine, o mare influență asupra activității geofizice a avut-o impactul calculului electronic. Acesta s-a manifestat, în condițiile perfecționării continue a calculatoarelor electronice, în sofisticarea aparaturii de măsurare din punctul de vedere al principiilor pe care se bazează obținerea informațiilor referitoare la structurile geologice și la acumulările de substanțe minerale utile, ca și al sistemelor de înregistrare și redare a acestor informații, al calibrării, etalonării și depanării unor astfel de echipamente, precum și în posibilitatea prelucrării unor volume mari de date la un nivel fizico-matematic net superior.

Ca urmare, schimbările survenite în domeniul acumulării, transmiterii și difuzării informațiilor geofizice, ca și gradul tot mai ridicat de rafinament al datelor, din punctul de vedere al obținerii precum și din acela al prelucrării și interpretării lor au contribuit la accelerarea ritmului cercetării geofizice și la lărgirea frontierelor problematicii geologice privind baza de materii prime minerale și de surse de energie.

Cunoașterea aprofundată a metodelor de prospecțiune geofizică, folosirea adecvată a acestora și interpretarea corectă a informațiilor obținute reprezintă în fapt cele trei laturi inseparabile și care se condiționează reciproc pentru rezolvarea complexelor probleme ce se pun prospecțiunii, determinarea formelor structurale ale rocilor și a condițiilor favorabile de acumulare a substanțelor minerale utile în zăcăminte, integrarea acestora în ansamblul și caracteristicile structurii geologice regionale și locale și, în ultimă instanță, creșterea eficienței economice a activității de prospectare a subsolului.

După cum este cunoscut (Gavăt et al., 1973), interpretarea geologică a informației geofizice urmărește să clarifice problemele de legătură dintre rezultatele prospecțiunilor geofizice și geologice, în scopul descifrării pe cale indirectă a structurii geologice ascunse a subsolului și a îmbogățirii gradului de cunoaștere geologică a acestuia. Întreaga experiență acumulată în cei peste 60 de ani de activitate geofizică românească de către toate generațiile de ingineri geofizicieni a contribuit la adîncirea, diversificarea și rafinarea interpretării geologice a informației geofizice, făcînd din aceasta un domeniu de tradiție în țara noastră.

Privit prin prizma teoriei comunicației, procesul de interpretare geologică a informației geofizice dezvăluie unele aspecte, conținuturi și semnificații noi, atît teoretice cît și practice, asupra cărora ne vom referi pe scurt în cele ce urmează.

Considerată la un nivel de largă generalitate, prospecțiunea geofizică poate fi definită ca activitatea de obținere la suprafața solului, a apei sau în aer a unor sem-

nale — naturale sau provocate așa cum a fost precizat mai înainte — cu o semnificație fizică net diferită și care poartă în ele informații de la structura geologică ascunsă a subsolului, prelucrarea acestor semnale și interpretarea lor în termeni geologici. Sub aspect fizic, nici o apropiere nu se poate face între natura acestor semnale utilizate în diferitele metode geofizice. Într-adevăr, cum am putea găsi o cît de mică asemănare între, să zicem, cîmpul electric generat prin polarizație naturală de un zăcămînt de sulfuri polimetalice și vibrația solului creată de sosirea la suprafață a unei unde elastice reflectată de un strat de cărbune din subsol, între oricare din acestea două și intensitatea radiației naturale produsă de o mineralizație de elemente rare și disperse s.a.m.d.

Și totuși, dacă analizăm cu atenție ceea ce de fapt reprezintă prospecțiunea geofizică constatăm că astfel de semnale, indiferent de fenomenul fizic care le provoacă, satisfac o relație unică pe care putem să o numim *ecuația generală a prospecțiunii geofizice* și care poate fi exprimată analitic ca

$$S(x, y, o, t) = I(x, y, z, t) * G(x, y, z, t) \quad Z(x, y, z, t).$$

În această relație:

$S(x, y, o, t)$ reprezintă semnalul geofizic recepționat la suprafața solului terestru sau a mării și care în cazul prospecțiunilor aerogeofizice efectuate la un plafon de zbor z devine $S(x, y, -z, t)$;

$I(x, y, z, t)$ este informația geofizică generată de obiectul geologic de prospectat — formă structurală sau acumulare de substanțe minerale utile — și a cărei definire o vom face mai departe;

$G(x, y, z, t)$ este o funcție care depinde de caracteristicile mediului geologic prin care se propagă informația geofizică, cum sînt de exemplu reflectivitatea, transmisivitatea, atenuarea, absorbția, ecranarea, semnale adiționale provenite de la alte obiecte geologice învecinate sau de la elemente geomorfologice de suprafață și altele;

$Z(x, y, z, t)$ definește zgomotul, considerat în general ca avînd un caracter aleator, dar care în realitate nu întotdeauna are această caracteristică.

În relația de mai sus, x, y și z simbolizează variabilele spațiale într-un sistem cartezian de coordonate, iar t variabila temporală.

În acord cu această relație, semnalul geofizic de care ia act geofizicianul la efectuarea măsurătorilor reprezintă convoluarea informației geofizice pe care caută să o determine cu o funcție de transfer care depinde de mediul geologic și la care se adaugă un zgomot inerent oricărui proces de comunicație. Particularizarea acestei ecuații generale la oricare din metodele, tehnicile sau variantele de prospecțiune geofizică, se poate face fără dificultăți.

Rezultă, din cele de mai sus, că problema fundamentală a prospecțiunii geofizice este de fapt aceea de a determina cît mai exact pe $I(x, y, z, t)$, respectiv informația geofizică, cunoscînd semnalul geofizic determinat experimental $S(x, y, o, t)$ sau $S(x, y, -z, t)$ și evaluînd sau aproximînd funcțiile $G(x, y, z, t)$ și $Z(x, y, z, t)$. Cu alte cuvinte, problema fundamentală a prospecțiunii geofizice este de a stabili cantitativ informația geofizică provenită de la obiectul geologic de prospectat; odată determinată aceasta, și numai în condițiile unui grad de încredere foarte ridicat asupra realității ei, se poate trece la interpretarea geologică a informației geofizice.

Să vedem acum ce semnificație poate avea noțiunea de informație geofizică.

Termenul de *informație*, folosit adesea în limbajul curent cu sensuri diferite (știre, veste, noutate, anchetă, anunț, confidență etc.), reprezintă de fapt o noțiune de largă

generalitate. Ca și alte noțiuni de același fel, ea nu se poate defini sau, în orice caz, nu acceptă o definiție simplă din cauza sensurilor diferite în care este utilizată. Ea poate căpăta însă un sens dacă îi asociem și domeniul la care se referă, de exemplu informație istorică, informație economică etc. sau, în cazul nostru, informație geofizică; analizînd însă cu atenție această problemă ajungem la concluzia că nu există o altă atitudine posibilă decît o alegere „a priori" a definiției pentru această noțiune. Stabilesc așadar prin convenție că *informația geofizică reprezintă suportul material al mesajelor fizice și geologice raportabile la structura geologică ascunsă a subsolului și la acumulările de substanțe minerale utile pe care aceasta le conține.*

Adoptînd această definiție, cu semnificație de suport material al unor răspunsuri sau mesaje care provin de la obiectele geologice din subsol, reiese clar că înțelegem prin informație geofizică orice reprezentare concretizată în profile, hărți, secțiuni, diagrame, histograme și alte tipuri de grafice folosite în prospecțiunea geofizică. În această formă, și numai în aceasta, informația geofizică poate fi interpretată în termeni geologici, cu alte cuvinte i se poate descifra și înțelege mesajul pe care îl poartă de la structura geologică ascunsă a subsolului.

2.1. POSIBILITĂȚI ȘI LIMITĂRI FIZICE, GEOLOGICE ȘI ECONOMICE ALE UTILIZĂRII PROSPECȚIUNILOR GEOFIZICE

„Mineritul și metalurgia s-au născut împreună deoarece amîndouă au comune o serie de domenii reprezentate fie de discipline fundamentale, fie de discipline ajutătoare" scria Kögler (1929) în prefața la prima ediție a binecunoscutului manual practic de minierit apărut sub coordonarea sa.

Chiar dacă nu se poate spune același lucru despre industria minieră și geoștiințele aplicate — geologia și, mai recent, geofizica — este clar că între acestea există multe discipline comune și, mai ales, puternice relații de interdependență. Pe de o parte, dezvoltarea industriei miniere se bazează pe progresul ce se realizează în aceste geoștiințe; aceasta privește posibilitățile de detectare a acumulărilor de diferite substanțe minerale utile care nu-și trădează prezența lor în adîncime prin manifestări sau indici de suprafață, explorarea acestora pînă la atingerea unui grad de cunoaștere care să asigure confirmarea de rezerve în bilanț pe care să se poată fundamenta investițiile, stabilirea tehnologiilor de extracție și de preparare pentru recuperarea cît mai completă a componenților utili etc.

În acest proces complex de atragere în circuitul economic a noi zăcăminte de substanțe minerale utile sau de purtători de energie primară, activitățile geologică, geofizică și minieră se împletesc în mod armonios și se sprijină reciproc.

Pe de altă parte, geologia și geofizica sînt beneficiare ale activității miniere deoarece pe măsură ce avansează exploatarea zăcămintelor crește și gradul de cunoaștere geologică a acestora, se confruntă și se verifică ipotezele și modelele elaborate în faza de prospecțiune și îmbunătățite în cea de explorare. Mai mult decît atît, se rezolvă această situație paradoxală a cunoașterii geologice și anume că un zăcămînt devine cu adevărat cunoscut în toată complexitatea lui — formă exactă, dimensiuni, gradul de mineralizare și variațiile acestuia, distribuția elementelor însoțitoare și tipul lor, relațiile cu rocile care îl găzduiesc etc. — în momentul în care exploatarea lui s-a încheiat, deci a ieșit din incidența interesului economic. Aceasta nu înseamnă însă

că interesul lui scade pentru geologie; din contra, abia cînd această cunoaștere este asigurată se pot stabili cu adevărat legitățile de geneză și acumulare a mineralizației în condițiile concret specifice ale structurii geologice regionale și locale, se pot stabili condiționările fizico-geologice care au determinat reflectări ale acestuia de o anumită natură și de un anumit tip în mărimile fizice care au reprezentat informațiile indirecte etc. Toate acestea duc la progresul geoștiințelor, la îmbunătățirea metodelor și tehnicilor de lucru ce vor fi aplicate în condiții fizico-geologice și de geneză asemănătoare, ceea ce va avea ca efect final creșterea eficienței activității de prospectare a subsolului. Iată de ce, acest schimb de informații în dublu sens, dintre industria minieră și geoștiințe, nu numai că este în beneficiul reciproc al acestora dar creează și interdependența dintre ele la care ne-am referit mai sus.

Acestea sînt principalele elemente obiective care stau la baza cooperării dintre minierit și geoștiințe în general și, prospecțiunea geofizică, în particular. Și, ca în orice domeniu de cooperare, cu cît aceasta este mai adîncită, cu cît aportul părților este mai bogat în conținut și mai mare cantitativ, cu atît și rezultatele acesteia vor fi mai importante în beneficiul ambelor părți. De aceea, cunoașterea și înțelegerea de către inginerul de mine a posibilităților și limitărilor metodelor geofizice, a naturii problemelor geologice pe care ele le pot rezolva ca și a tipului și semnificației informațiilor pe care acestea le pot furniza, cunoașterea de pe pozițiile beneficiarului unor astfel de lucrări, nu poate fi decît în interesul industriei miniere și, în ultimă instanță, a economiei noastre naționale.

Pămîntul românesc oferă o mare complexitate și diversitate a alcătuirii sale geologice, ca și a bogățiilor minerale pe care le conține subsolul acestuia. Aceste aspecte sînt tratate în ceea ce au ele esențial, ca și cu amănuntele semnificative, în alte părți ale prezentului manual. Nu putem însă să trecem cu vederea aspecte cum sînt complexitatea structurii geologice, tipurile și formele de zăcămînt pe care le îmbracă acumulările de substanțe metalifere și nemetalifere, dimensiunile zăcămintelor, natura paragenezelor minerale în zăcăminte, relațiile acestora cu structurile magmatice sau metamorfice și uneori chiar sedimentare care le găzduiesc etc., ca și gradul de încarbonificare, grosimile și continuitatea sau lipsa acesteia la stratele de cărbuni, relațiile lor cu formele structurale ale formațiunilor sedimentare în care s-au format, gradul de tectonizare al acestora pe care l-au suportat în trecutul geologic și natura formelor tectonice actuale etc., deoarece toate acestea se reflectă într-un mod specific în informațiile geofizice.

Aplicabilitatea metodelor geofizice în procesul prospectării diferitelor tipuri de substanțe minerale utile și de forme de zăcămînt sub care acestea se găsesc asociate structurii geologice ascunse este controlată de o serie de condiționări fizice, geologice și economice asupra cărora ne vom opri pe scurt atenția în cele ce urmează. Aceste condiționări, denumite și *parametri-cheie* în limbajul curent al geofizicienilor, sînt principalele elemente care definesc și conturează posibilitățile și limitările aplicabilității eficiente a acestor metode.

Ceea ce este caracteristic și definitoriu diferitelor metode de prospecțiune geofizică este că fiecare din ele pune în evidență o latură anumită în care se reflectă structura geologică prospectată prin metoda respectivă; or, această latură specifică este direct condiționată de factorii fizici și geologici care asigură aplicabilitatea ei. Acești factori sînt trecuți în revistă în cele ce urmează.

Contrastul de proprietăți fizice. Acesta este unul dintre factorii fizico-geologici care este comun tuturor metodelor de prospecțiune geofizică. Nici una dintre aceste metode nu este aplicabilă dacă obiectul geologic de prospectat — fie zăcămînt, fie structură geologică de care să fie asociată o anumită substanță minerală utilă — nu reali-

zează un contrast de proprietăți fizice față de restul rocilor care se găsesc lateral, deasupra și dedesubtul lui.

Un astfel de contrast este *contrastul de masă magnetică*. Proprietatea fizică în măsură să diferențieze diferitele tipuri de roci sau de substanțe minerale utile din natură este susceptibilitatea magnetică a acestora și se exprimă în unități specifice de susceptibilitate (10^{6} uCGS). În esență, proprietățile magnetice ale fiecărui element chimic sînt definite de momentul magnetic al atomului acestuia. Cu mici excepții, elementele chimice nu se găsesc pure în natură ci sub formă de combinații ca oxizi, sulfuri, carbonați, silicați etc., iar forma de prezentare a lor este aceea de molecule. Organizarea atomilor poate fi în rețea cristalină sau sub aspect amorf. Din cele de mai sus reiese că momentul magnetic al atomului nu este definitoriu pentru proprietățile magnetice ale mineralelor. Un exemplu în acest sens este edificator. Hematitul are susceptibilitate magnetică ridicată, de ordinul $1\,000-80\,000 \cdot 10^{6}$ uCGS, în timp ce martitul care are aceeași formulă chimică este practic lipsit de proprietăți magnetice din cauza unei organizări interne diferite a atomilor în rețeaua cristalină și care are ca efect anihilarea reciprocă a momentelor magnetice ale atomilor.

Mineralul cu cea mai ridicată valoare a susceptibilității magnetice și net diferită ca nivel de a tuturor celorlalte, de ordinul $10\,000-4\,400\,000 \cdot 10^{6}$ uCGS, este magnetitul. Acesta prezintă și marele avantaj că este foarte răspîndit în natură, fiind prezent — în conținuturi foarte diferite — practic în toate tipurile de roci (sedimentare, metamorfice și magmatice), precum și în marea majoritate a paragenezelor de minerale metalifere.

Datorită acestei situații, pentru înțelegerea și explicarea comportării magnetice a structurii geologice în prospecțiunea geofizică s-a emis ipoteza simplificatoare că *susceptibilitatea magnetică este direct proporțională cu conținutul rocilor în magnetit.* Cu tot caracterul ei simplificator, această ipoteză s-a dovedit pe deplin satisfăcătoare în marea majoritate a cazurilor practice.

În realitate, proprietățile magnetice ale oricărei substanțe din natură nu pot fi definite complet decît prin intensitatea de magnetizare a acesteia, care este o mărime vectorială și nu scalară ca susceptibilitatea magnetică. *Intensitatea de magnetizare a unei roci* reprezintă momentul magnetic al unității de volum și fiind o mărime dirijată în spațiu trebuie cunoscută — ca orice vector — prin intensitate, direcție, sens și poziția punctului de aplicație, ceea ce nu este cîtuși de puțin un lucru simplu. Legătura dintre intensitatea de magnetizare și susceptibilitatea magnetică este dată de faptul că mărimea acesteia este proporțională cu susceptibilitatea, respectiv cu capacitatea de magnetizare a substanței respective.

Considerate după intensitatea lor de magnetizare, rocile din natură pot să posede o magnetizare indusă, cîștigată datorită cîmpului geomagnetic în timpul formării lor, sau una remanentă (naturală) care le este proprie la formarea lor sau a fost influențată datorită proceselor chimice și termice care au avut loc în trecutul lor geologic. De fapt, pentru orice rocă sau acumulare de substanțe minerale utile, intensitatea de magnetizare reprezintă suma, evident vectorială, a celor două tipuri de magnetizări, respectiv remanentă și indusă; numai că la rocile slab magnetizate, cum sînt cele sedimentare, metamorfice și unele roci magmatice, mai ales acide, predomină componenta indusă, iar cea remanentă este practic neglijabilă, în timp ce la zăcămintele de fier — indeosebi cele de oxizi — precum și la unele roci magmatice bazice și ultrabazice, predominantă este componenta remanentă.

Dat fiind faptul că vectorii magnetizare în masa unei roci sau zăcămînt pot avea intensități mari, definind deci o susceptibilitate magnetică echivalentă cu valoare ridicată, însă orientări diferite în spațiu, acestea pot să nu se manifeste ca niște cor-

puri magnetice cînd orientarea vectorilor este difuză sau ca avînd o magnetizare inversă cînd vectorii magnetizare au o orientare preferențială paralelă ori diferită de aceea a cîmpului geomagnetic, însă au sens invers cu al acestuia.

În cazul în care avem de-a face cu magnetizări remanente, interpretarea rezultatelor prospecțiunii geofizice se complică dar nu este irezolvabilă.

Proprietățile magnetice, fie că sînt definite prin susceptibilitatea magnetică, fie prin intensitatea de magnetizare, variază în domenii mari în cadrul oricărei structuri geologice de la un tip de rocă la altul care intră în componența ei și chiar în cuprinsul aceluiași tip de rocă, cum este cazul rocilor magmatice și al zăcămintelor metalifere. De aceea, aplicabilitatea prospecțiunii geofizice este condiționată de fapt nu de contrastul sau de contrastele de proprietăți magnetice; astfel de contraste devin interesante numai dacă rocile care se diferențiază după această proprietate ocupă volume importante în subsol, deoarece numai în acest caz se realizează contraste de masă magnetică suficient de mari în valoare pentru a genera anomalii magnetice cartabile. Din cele arătate mai sus reiese clar că, de fapt, *contrastul de masă magnetică* — factor fizico-geologic care condiționează aplicabilitatea uneia dintre metodele geofizice — reprezintă produsul dintre contrastul de proprietăți magnetice și volumul ocupat de corpul geologic în subsol. Latura corpului geologic prospectat care se reflectă în această metodă de prospecțiune geofizică este deci contrastul de masă magnetică.

Un alt tip de contrast de proprietăți fizice este contrastul de „masă materială" sau mai simplu, *contrast de masă*.

Rocile și acumulările de substanțe minerale utile se diferențiază și după densitatea lor, respectiv după masa unității de volum a acestora exprimată în g/cm³. În principal, valoarea densității depinde de compoziția minerală, cu alte cuvinte de tipurile de minerale și de procentul cu care acestea intră în alcătuirea unui corp geologic.

Ca și proprietățile magnetice, densitatea variază în limite destul de largi în cuprinsul oricărei structuri geologice, de la un tip de rocă la altul și chiar în cadrul aceluiași tip de rocă. Un exemplu grăitor în acest sens îl reprezintă variația densității în cuprinsul corpurilor masive constituite din vulcanite neogene în funcție de gradul diferit de alterare hidrotermală a acestora, îndeosebi cînd procesele de autometamorfism hidrotermal au acționat în sensul caolinizării.

Variațiile de densitate legate de structura geologică ascunsă nu devin interesante pentru prospecțiunea geofizică decît atunci cînd obiectele geologice care prezintă un astfel de contrast ocupă volume importante în subsol. Numai în aceste cazuri se realizează contraste de masă capabile să genereze anomalii gravimetrice cartabile. Latura specifică a corpului geologic prospectat pe această cale geofizică va fi de această dată contrastul de masă, cu semnificație de produs între contrastul de densitate și volumul ocupat de corpul geologic respectiv.

Următorul tip de contrast de proprietăți fizice asupra căruia ne vom opri atenția este *contrastul de proprietăți electrice*.

Propagarea curentului electric printr-un mediu oarecare este condiționată de conductibilitatea electrică specifică a acestuia, cu alte cuvinte de capacitatea pe care o are mediul respectiv de a lăsa să treacă un curent electric prin el.

Cu mici excepții, cum este de pildă cazul mineralizațiilor metalifere masive, marea majoritate a rocilor și a acumulărilor de substanțe minerale utile se prezintă din punct de vedere electric ca niște medii eterogene cu comportament diferențiat. Fiind de fapt agregate minerale, ele reprezintă un amestec variabil de trei medii electrice diferite și anume:

— minerale metalifere, îndeosebi oxizii și sulfurile, caracterizate prin valori mari ale conductibilității electronice și prin care propagarea curentului electric se face datorită deplasării libere a electronilor în interiorul lor;

— apa, care intră în constituția oricărei roci fie ca apă legată, fie ca soluții mineralizate care umplu spațiul liber dintre minerale și care este caracterizată prin valori relativ scăzute ale conductibilității ionice. În acest caz, propagarea curentului electric se face prin deplasarea liberă a ionilor în soluție;

— minerale slab conductoare electric, practic cu un comportament de dielectrici, cum sînt cuarțul, calcitul, feldspații etc. Astfel de minerale opun o rezistență foarte mare la trecerea curentului electric prin ele sau chiar nu permit propagarea acestuia. Cînd astfel de minerale constituie acumulări masive, ca de exemplu corpuri de cuarțit, de baritină etc., ele se comportă foarte rezistiv din punct de vedere electric. Prezența lor în rocile comune metamorfice, magmatice sau sedimentare, ca și în mineralizațiile obișnuite, asociată mineralelor metalifere și apei, fac rocile respective mai puțin restrictive propagării curentului electric. În acest caz avem de-a face cu un alt tip de conductibilitate electrică, denumită *capacitivă* sau *prin curenți de deplasare*.

Conductibilitatea electrică, indiferent de natura ei, variază în limite foarte mari pentru diferitele minerale și chiar pentru roci ori acumulări de substanțe minerale utile. De aceea, practic este mai avantajos de caracterizat proprietățile electrice a subsolului nu prin conductibilitatea electrică specifică a corpurilor geologice care îl constituie, ci prin valoarea inversă a ei, denumită *rezistivitate electrică* și exprimată în Ωm. Așadar, contrastul de proprietăți electrice este de fapt un contrast de rezistivitate electrică specifică și aceasta este practic latura în care se reflectă corpurile geologice din subsol. Evident că și în acest caz mărimea corpurilor geologice influențează rezultatele prospecțiunii geofizice, dar factorul fizico-geologic de care depinde direct prospecțiunea electrometrică rămîne contrastul la care ne-am referit mai sus.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice care se realizează în natură este reprezentat de *contrastul de proprietăți radioactive naturale*. Aceste proprietăți sînt conferite rocilor îndeosebi de mineralele de uraniu care sînt mai numeroase și mai larg răspîndite în natură, au durată de existență caracterizată prin timpi de înjumătățire mai îndelungați și produc radiații mai intense. Prezența acestor minerale și, mai ales a uraninitului, se regăsește — la concentrații variabile și în general mici — practic în toate tipurile de roci. Nu trebuie neglijată însă nici prezența unor minerale de toriu, ca de exemplu monazitul, importantă în acumulările de minerale grele, ca și a celor de potasiu din rocile metamorfice și magmatice.

Raporturile de conținut în minerale radioactive pot fi foarte diferite în natură și chiar variază între 1 000/1 și chiar mai mult în cazul zăcămintelor de substanțe radioactive, coborînd pînă la 2/1 în cazul rocilor comune. Parametrul fizic care caracterizează proprietățile radioactive este conținutul în minerale radioactive și se exprimă în μg Ra echiv./g rocă. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice ascunse în rezultatele prospecțiunii geofizice va fi așadar, în acest caz, contrastul de conținut în minerale radioactive.

Alt tip de contrast de proprietăți fizice pe care îl realizează corpurile geologice este *contrastul de proprietăți termice*. Acesta derivă în primul rînd din conductibilitatea termică diferită a rocilor și care se exprimă în cal/cm². s. grad centigrad. Pe baza acestei proprietăți are loc difuzia diferențiată a căldurii interne a Pămîntului către suprafața terestră, prin conducție sau convecție, ca și a căldurii generate prin alte fenomene naturale cu sediul aproape de suprafață, cum sînt oxidarea unor mineralizații sau procesele de dizolvare a sării și care reprezintă fie reacții exotermice, fie endotermice. Latura specifică în care se reflectă corpurile geologice în informațiile geofizice este reprezentată în acest caz, în esență, prin contrastul de conductibilitate termică.

În fine, un alt contrast de proprietăți fizice realizat în natură este *contrastul de proprietăți elastice*, pe care se bazează propagarea în subsol a undelor seismice.

Proprietățile elastice ale rocilor, respectiv ale substanțelor minerale utile acumulate în zăcăminte, care interesează în propagarea și, mai ales, în devierea prin refracție sau reflexie a undelor elastice prin subsol, se caracterizează simultan prin doi parametri fizici ale acestora și anume: *viteza de propagare a undelor elastice* (v) și *densitatea* (δ).

Astfel, în refracție, contrastul de proprietăți elastice este definit prin *contrastul de impedanță acustică* — mărime reprezentată de produsul $v \cdot \delta$ — și poate fi exprimat fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 \quad v_1 \delta_1$$

fie ca

$$v_2 \cdot \delta_2 / v_1 \cdot \delta_1,$$

indicii 1 și 2 referindu-se la mediul de propagare superior, respectiv inferior.

În reflexie, contrastul de proprietăți elastice este caracterizat prin *coeficientul de reflexie* care se realizează la limita dintre cele două medii, exprimat ca

$$\frac{v_2 \cdot \delta_2 - v_1 \cdot \delta_1}{v_2 \cdot \delta_2 + v_1 \cdot \delta_1}$$

Mărimea corpurilor geologice, în acest caz grosimea stratelor, intervine cu o pondere mică și practic numai în cazul refracției. Aplicabilitatea acestei forme de prospecțiune geofizică este condiționată deci, aproape exclusiv, de contrastul de proprietăți elastice care reprezintă și latura specifică în care se manifestă structura geologică ascunsă a subsolului.

Așa cum a fost deja precizat, proprietățile fizice ale rocilor — specifice pentru toate metodele geofizice — pot să prezinte valori diferite de la o rocă, mineral sau acumulare de minerale utile la alta, datorită situației geologice concret locale. Deoarece aceste proprietăți fizice nu sînt constante pentru astfel de substanțe, este întotdeauna convenabil să cunoaștem domeniul lor de variație. Pentru aceasta, în tabelul X.5 pe care îl prezentăm sînt înscrise domeniile de variație pentru principalele medii care interesează geologia minieră și prospectarea geofizică în această ramură a geologiei economice și, de asemenea, pentru toți parametrii fizici discutați mai sus.

Relieful topografic și structura cuverturii superficiale. Relieful topografic și cuvertura superficială reprezintă alți doi factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice.

Zăcămintele metalifere și în parte cele de cărbuni, sare și substanțe nemetalifere sînt situate — cel puțin în țara noastră — în regiuni muntoase și submuntoase caracterizate prin relief variat și accidentat.

Formele de relief topografic și prezența mai multor tipuri de roci cu proprietăți fizice diferențiate în cuprinsul acestora — îndeosebi în cazul reliefurilor geomorfologice — influențează într-o măsură diferită prospecțiunile geofizice. Măsurătorile gravimetrice și seismice sînt puternic influențate și, din acest motiv, efectele de relief sînt scrupulos evaluate pentru corectarea valorilor măsurate. Efecte datorate acestor factori se resimt și în măsurătorile magnetice și radiometrice, în unele cazuri chiar și în cele electrometrice; în aceste cazuri, deși nu se evaluează reduceri de relief, se ține cont în interpretarea informațiilor geofizice de posibilitatea existenței unor efecte provenite pe această cale.

Cuvertura superficială, reprezentată prin soluri, formațiuni aluviale sau deluviale, alterări a zonelor de suprafață ale rocilor masive, conuri de dejecție sau alte formațiuni

Tabelul X.5

Proprietățile fizice ale principalelor roci și minerale

Rocă sau mineral	Densitatea, g/cm³	Susceptibilitatea magnetică, 10^{-6} uCGS	Conținut în Ra echivalent, μμg Ra/g	Viteza de propagare, m/s	Rezistivitatea specifică, Ωm
Soluri	1,50—2,00	0—30		300—800	$2 \cdot 10^0 - 1 \cdot 10^6$
Loess	1,40—1,50	20—30		300—800	$5 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^4$
Nisip	1,40—2,18	—1	3—21	1 600—1 900	$1 \cdot 10^0 - 4 \cdot 10^6$
Grezie	2,35—2,72	3—700	3—22	2 200—3 000	$6 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^6$
Argilă	2,15—2,46	20—40	4—23	2 000—2 200	$1 \cdot 10^0 - 1 \cdot 10^5$
Marnă	2,12—2,57	40—50	3—24	2 100—2 600	$5 \cdot 10^{-1} - 7 \cdot 10^0$
Calcar	2,45—2,81	4—70	3—17	4 000—6 000	$1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^8$
Dolomit	2,60—2,80	—1~4	2—9	4 000—6 000	$6 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^7$
Sare, gips	2,12—2,25	—1	0—2	4 500—6 000	$3 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^8$
Lignit	1,00—1,20	—2~2	0—2	1 400—1 900	$9 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^4$
Huilă	1,40—1,50	—2~2	0—2	1 400—2 000	$6 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^7$
Antracit	1,40—1,60	—2~3	0—3	1 600—2 000	$1 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$
Pirită	4,90—5,20	4—50			$5 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^4$
Calcopirită	4,10—4,30	3—40			$1,5 \cdot 10^{-2} - 3,5 \cdot 10^1$
Pirotină	4,58—4,70	6 000—80 000			$5 \cdot 10^{-2} \quad 5 \cdot 10^0$
Magnetit	4,90—5,20	10 000—4 400 000			$0,6 \cdot 10^0 - 5 \cdot 10^3$
Hematit	5,00—5,30	1 000—80 000			$5 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^7$
Limonit	3,30—4,00	100—500			$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^7$
Siderit	3,90—4,00	2—30			$7 \cdot 10^3$
Galenă	7,40—7,60	2—40			$3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^1$
Cromit	4,00—4,80	240—600			$1 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^6$
Calcit	2,60—2,80				10^7
Cuarț	2,50—2,80				10^7
Grafit	1,84—2,23				$8 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^0$
Filit	2,68—2,80	100			
Amfibolit	2,91—3,04	60		6500—7 000	
Șisturi cristaline	2,39—2,87	20		4 000—6 000	$3 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^6$
Gnais	2,59—3,00	0—2 50		4 500—4 900	$2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^6$
Serpentin	2,80—3,10	250—6 000	0—1	6 500—7 000	$2 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$
Granit	2,56—2,71	5—5 000	0—3	4 000—6 000	$3 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^5$
Diorit	2,60—2,75	10—5 000	0—3	5 000—6 000	$5 \cdot 10^6 - 1 \cdot 10^6$
Porfir	2,55—2,66	40—600	0—3	5 000—6 000	$6 \cdot 10^3 - 1,5^3 \cdot 10^6$
Sienit	2,60—2,90	50—5 000	0—2	5 000—5 500	$1 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^7$
Bazalt	2,71—3,21	60—6 000	0—2	4 900—6 400	$8 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^9$
Diabaz	2,73—3,12	50—12 000	0—2	5 800—7 100	$2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^6$
Gabbrou	2,89—3,09	0—7 000	0—2	6 700—7 300	$1 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^6$
Dunit	2,80—3,12	100—2 000	0—1	7 900—8 100	
Tuf vulcanic	1,75—1,85	100—3 000			

alohtone acoperitoare etc., își manifestă de asemenea influența asupra măsurătorilor geofizice prin natura petrografică a lor, variațiile de grosime, gradul de umiditate și altele.

În unele situații, cum este cazul măsurătorilor radiometrice, rocile cuvertului superficiale — dacă depășesc o grosime de mai mulți decimetri — pot să ecraneze radiațiile provenite de la corpurile geologice din subsol, reprezentînd un element prohibitiv executării acestora. În prospecțiunea seismică, influența acesteia se consideră scrupulos, evaluîndu-se efectele asupra propagării undelor elastice și aplicîndu-se [illegible] țiile necesare. La celelalte metode de prospecțiune geofizică efectele cuvertului superficiale nu se pot evalua, însă trebuie ținut cont în procesul de interpretare a informațiilor de posibilitatea existenței lor.

Mărimea, adîncimea, forma și gradul de izolare a obiectelor geologice. Ideal ar fi ca toate zăcămintele de substanțe minerale utile să fie cît mai mari și cît mai aproape de suprafață, iar forma lor să fie regulată, chiar geometrică, și ușor de determinat printr-un minim de lucrări de explorare; acest lucru este valabil atît pentru industria minieră cît și pentru prospecțiunea geofizică. În realitate, situația nu este deloc aceasta. Din contră, detectarea unor astfel de zăcăminte implică investigarea la adîncimi din ce în ce mai mari și, în general, în condiții de structură geologică mereu mai complicată.

Pentru prospecțiunea geofizică, *mărimea, adîncimea* și *forma obiectelor geologice* ce urmează a fi detectate pe această cale reprezintă trei factori fizico-geologici care trebuie considerați împreună, deoarece ei se intercondiționează reciproc și se manifestă simultan. Este adevărat că aceștia se reflectă în trei elemente caracteristice ale informațiilor geofizice — morfostructura, intensitatea și extinderea în suprafață a lor — însă această reflectare nu este separată ci simultană, deși cu pondere diferită, a tuturor celor trei factori fizico-geologici în fiecare din acestea.

Pentru unele metode geofizice, cum sînt cele gravimetrică și magnetometrică, obiectele geologice de interes — indiferent de forma lor — pot fi sesizate da[illegible] pe măsură ce crește adîncimea lor le crește și mărimea. Influența adîncimii în radiometrie rămîne factorul cel mai important deoarece, așa cum s-a mai spus, dacă intervine ecranarea fluxului de radiații datorită rocilor care acoperă obiectul geologic de prospectat, adîncimea acestuia poate deveni prohibitivă aplicării acestei metode. În electrometrie, de asemenea, adîncimea joacă un rol esențial, în primul rînd ca urmare a faptului că prin însăși posibilitățile pe care le oferă, metodele electrometrice au o adîncime de investigație mică, de ordinul pînă la 3—400 m. Singura metodă geofizică fără restricții de adîncime este cea seismometrică, dar aplicarea ei în geologia minieră este limitată la substanțele minerale utile găzduite de formațiuni sedimentare slab tectonizate.

Forma obiectelor geologice influențează și ea informațiile geofizice, ca și mărimea acestora. În general, formele disjunctive cum sînt fracturile, dyke-urile, filoanele, zăcămintele stratiforme puternic redresate etc. în care se încadrează o mare parte din problemele geologiei zăcămintelor metalifere, sînt mai favorabile prospectării geofizice. Rezultate concludente se pot obține însă și pentru zăcăminte stratiforme orizontale sau suborizontale, zăcăminte masive de formă oarecare și altele, dacă mărimea lor este satisfăcătoare și adîncimea relativ mică. La unele acumulări de substanțe minerale utile, cum sînt zăcămintele stratiforme, de sulfuri complexe — compacte sau de impregnație — ori stratele de cărbuni, forma lor poate fi puternic complicată datorită accidentelor tectonice, ca falii cu săritură pe verticală sau falii de decroșare; acestea complică reflectarea lor în informațiile geofizice dar, în cazul în care adîncimea la care se găsesc nu este prea mare, prospecțiunea geofizică își conservă aplicabilitatea.

În legătură cu acești trei factori fizico-geologici care controlează aplicabilitatea prospecțiunilor geofizice mai apare și un al patrulea, și anume, *gradul de izolare al obiectelor geologice*. Se înțelege prin *izolare* sau *separare a obiectelor geologice* situația în care acestea găsindu-se în subsol la o adîncime comparabilă au între ele o distanță convenabilă, astfel încît efectele lor să se manifeste în informații geofizice bine individualizate. Cînd distanța dintre acestea este prea mică în raport cu adîncimea lor, apar efecte de cumul prin adițiune, cu alte cuvinte două sau chiar mai multe obiecte geologice ascunse pot să se reflecte într-o singură informație geofizică în care sînt cuprinse efectele individuale ale acestora.

Acest factor fizico-geologic influențează îndeosebi informația gravimetrică și, într-o măsură mai redusă, pe cea magnetică; el nu se face resimțit în celelalte metode de prospecțiune geofizică.

Caracteristicile limitelor geologice. Caracterizarea limitelor geologice după formă, geneză și contrast de proprietăți fizice, respectiv caractere litologice sau petrografice, este necesară din punctul de vedere al individualizării acumulărilor de substanțe minerale utile în raport cu masa rocilor în care acestea sînt găzduite.

În unele cazuri aceste limite sînt nete, tranșante, pe ele facîndu-se trecerea bruscă de la o valoare a proprietății fizice (densitate, susceptibilitate magnetică etc.) la o alta semnificativ diferită. Așa este cazul, de exemplu, [illegible] cu mineralizațiile masive care se conturează ca niște corpuri bine individualizate, cu unele strate de cărbuni, cu limita cuvertură sedimentară/fundament cristalin și altele. În astfel de situații prospecțiunea geofizică este favorizată în aplicare.

În multe cazuri însă, saltul de proprietăți fizice nu este brusc ci progresiv. Ca exemple se pot da trecerea de la mineralizațiile masive la roca sterilă prin intermediul unei zone de impregnație, trecerea de la o rocă pelitică sau psamitică la cărbune prin intermediul unor marne sau șisturi cărbunoase, zăcămintele metalifere greu definibile ca formă cum sînt stock-urile, volburile etc. În situațiile în care zona de trecere este relativ de mică grosime, deși nu există o limită geologică netă, corpul geologic se manifestă ca avînd o astfel de limită, echivalentă, dar care în realitate nu are un corespondent fizic.

Atunci cînd se realizează situațiile la care ne-am referit mai sus, unor astfel de limite le corespund orizonturi geofizice de referință, foarte importante pentru interpretarea geologică a informațiilor geofizice. Dacă astfel de condiții nu sînt satisfăcute, și sîntem în prezența unor treceri gradate — progresive sau regresive — ale proprietăților fizice pe distanțe mari în raport cu dimensiunile corpului geologic de prospectat, informațiile geofizice obținute de la acesta sînt mai puțin concludente și interpretarea geologică a lor va avea un grad de încredere mai scăzut.

Caracterul limitelor geologice reprezintă factorul hotărîtor pentru informația seismică de reflexie. Pentru ca să existe o bună suprafață de reflexie în subsol, corespunzătoare unei limite litologice, stratigrafice sau paleogeografice, trebuie să fie îndeplinite următoarele cinci condiții:

— contrast de proprietăți elastice, respectiv valoare cît mai mare a coeficientului de reflexie;

— continuitate în suprafață cît mai mare a acestei limite, cu conservarea cît mai bună a valorii coeficientului de reflexie;

— caracter neted, „de oglindă", a acesteia;

— înclinare care să nu depășească 15—25°;

— absența unor neomogenități locale care să genereze anomalii de viteză de propagare a undelor elastice în formațiunile geologice care acoperă suprafața de reflexie respectivă.

Dacă satisfacerea acestor condiții este deplină, atunci este asigurată existența unor orizonturi seismice de referință de foarte bună calitate, iar informația seismică va avea un grad de încredere foarte indicat. În marea majoritate a cazurilor avem de-a face numai cu o satisfacere parțială, ceea ce conduce la informații seismice fragmentare; valoarea acestora este însă de necontestat, deoarece — în ansamblu — ele sugerează corect structura geologică ascunsă a subsolului.

Condițiile unei bune limite de reflexie sînt, în fapt, valabile și pentru celelalte informații geofizice, cu precizarea că pentru acestea din urmă cu cît înclinarea limitei geologice este mai mare, ideal verticală, cu atît aplicabilitatea metodelor geofizice respective este mai favorizată. Acest fapt este realizat în natură în foarte multe cazuri în primul rînd pentru zăcămintele metalifere, datorită caracterului predominant discordant al acestora față de terenurile metamorfice și, mai ales, cele magmatice care le găzduiesc. Totuși, o caracteristică importantă a acestui tip de mineralizații este că ele au forme extrem de neregulate; aceasta face ca realizarea contrastelor de proprietăți fizice ale acumulărilor minerale față de roca-gazdă să aibă loc pe limite greu de [illegible] și foarte diferite ca poziție în spațiu de la un caz la altul, variind de la [illegible] ală la cea orizontală.

Costul lucrărilor. În practica aplicării metodelor de prospecțiune geofizică trebuie ținut seama nu numai de problema geologică de rezolvat și de domeniul de aplicabilitate al diferitelor metode, ci și de costul lucrărilor respective. Așa dar, pe lîngă condiționările fizice și geologice mai apare și o condiționare economică la folosirea acestor metode de prospecțiune.

După cum a fost precizat mai înainte, fiecare tip de informație geofizică conține reflectarea unei laturi specifice a structurii geologice ascunse a subsolului. Variația acumulărilor de substanțe minerale utile face ca acestea să-și trădeze existența în una sau alta din informațiile geofizice. De exemplu, o mineralizație de sulfuri complexe poate să se reflecte mai evident în informația magnetică, dacă are un conținut mai ridicat în minerale feromagnetice (pirită, pirotină, magnetit, hematit etc.), sau în cea electrometrică, în cazul cînd astfel de minerale sînt conținute într-un procentaj mai scăzut și cînd structura și textura mineralizației este diferită. Din acest motiv eficiența prospecțiunii geofizice la localizarea unor astfel de acumulări crește atunci cînd avem la dispoziție mai multe tipuri de informații geofizice sau, cum se mai spune, atunci cînd se efectuează prospecțiuni geofizice complexe.

Pe de altă parte, acumulările de substanțe minerale solide fiind în general de dimensiuni mici, cu grosimi de ordinul pînă la cîțiva metri, detectarea existenței acestora în subsol necesită prospecțiuni geofizice de mare detaliu. Din această cauză astfel de prospecțiuni trebuie precedate de unele cu [illegible] regională, [illegible] stabilească șansele de existență a unor anumite tipuri de acumulări de substanțe minerale, respectiv prin care să se descifreze structura geologică ascunsă, [illegible] condiții metalogenetice de afiliație magmatică sau metamorfică, existența unor factori de control structural cum sînt de exemplu fracturile [illegible]

Cu alte cuvinte, prospectarea geofizică a zăcămintelor minerale necesită aplicarea unui complex de metode geofizice, cel puțin în două faze diferite: una *regională* și una *[illegible] de mare detaliu*.

Este, de asemenea, de remarcat că metodele geofizice au nevoie de mijloace [illegible] și de o prelucrare mai laborioasă a rezultatelor, ceea ce face ca ele să fie mai costisitoare decît cele geologice sau geochimice. Astfel, luînd ca termen de [illegible] costul mediu anual [illegible]

la sol, cu 50% pentru o echipă de gravimetrie, cu 375% pentru una de aeromagnetism și cu 700% mai mari pentru o echipă de seismometrie.

Așa dar, în economia aplicării prospecțiunilor geofizice este necesar ca la proiectarea acestor lucrări să fie făcută o analiză foarte atentă a eficacității probabile a metodelor cît și a cheltuielilor ocazionate de folosirea lor, alegînd final acea metodă sau acel complex de metode pentru care cheltuielile care se vor efectua vor fi justificate prin natura și valoarea informațiilor geologice ce se vor obține.

2.2. COMPLEXUL DE METODE GEOFIZICE SPECIFIC PROBLEMELOR DE GEOLOGIE MINIERĂ

Geofizica este știința care se ocupă cu studiul proprietăților și al fenomenelor fizice ale Pămîntului, precum și cu legătura lor cu structura internă a acestuia. Partea aplicativă a acestei geoștiințe, în speță prospecțiunea geofizică, încorporează un complex de metode, tehnici și variante ale acestora relativ multe la număr, bazate pe fenomene fizice naturale sau provocate, și care au o caracteristică comună prin aceea că folosesc măsurători la suprafața Pămîntului, în aer, pe și sub apă sau în excavații miniere, detectînd variații legate de diferențierea proprietăților fizice ale mineralelor, rocilor sau formațiunilor geologice care sînt interpretate apoi în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

În cele ce urmează vom face o scurtă prezentare a metodelor geofizice și, îndeosebi, a acelor variante care interesează geologia minieră. Cititorul care este interesat în adîncirea problemelor de metodică și tehnică a acestui gen de prospecțiuni poate consulta lucrări apărute anterior în acest domeniu și anume: Botezatu (1964), Constantinescu et al. (1965), Socolescu (1967), Botezatu et al. (1976), Airinei (1977), Botezatu (1977), Zegheru și Albotă (1979).

2.2.1. PROSPECȚIUNEA GEOMAGNETICĂ

Pămîntul se manifestă în exteriorul lui ca un magnet, exercitînd forțe de atracție asupra oricărui magnet sau obiect constituit din metale feroase. Forța cu care acționează asupra unui corp de masă magnetică unitară poartă numele de *cîmp geomagnetic*.

Privit la scară planetară, cîmpul geomagnetic are o structură relativ regulată — destul de apropiată de aceea a cîmpului creat de un magnet în formă de bară — și o intensitate de valoare scăzută.

Unitatea CGS de intensitate a cîmpului magnetic poartă numele de *Oerstedt* și se notează cu 1 Oe. Ea reprezintă cîmpul creat de un pol magnetic (masă magnetică) unitar într-un punct situat la distanța de 1 cm, mediul fiind nemagnetic. Această unitate de măsură fiind prea mare pentru cîmpul geomagnetic, în prospecțiunea magnetică se folosește unitatea practică purtînd numele de *gamma*, relația dintre acestea fiind $1\gamma = 10^{-5}$ Oe.

Cîmpul geomagnetic prezintă variații atît în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pămîntului ca și în aer pe măsură ce ne îndepărtăm de aceasta, cît și în timp.

Variațiile în spațiu se datoresc structurii interne a Pămîntului — m[illegible] mantaua care produc partea regulată a cîmpului geomagnetic — precum și s[illegible] acestuia și îndeosebi a părții superioare a ei, unde au loc diferitele diferențieri [illegible] și existența acumulărilor de substanțe minerale utile cu proprietăți magnetice [illegible]. Acestea din urmă produc abateri de la aspectul regulat al cîmpului geomagnet[illegible]

Configurația generală destul de regulată a distribuției cîmpului geomagne[illegible] întreaga suprafață a Pămîntului a condus la ideea separării acestuia în două p[illegible] anume: *cîmpul geomagnetic normal* (T_0) și *anomalia cîmpului geomagnetic* (ΔT [illegible] lucru se exprimă analitic prin relația

$$T = T_0 + \Delta T$$

În general, cîmpul geomagnetic normal care, așa cum se deduce din cele arăt[illegible] sus ar corespunde magnetizării practic uniforme a nucleului și mantalei Pămînt[illegible] se poate evalua pe calea analitică; el este însă determinat în condiții satisf[illegible] pentru teritoriul unui stat prin măsurători în puncte în care practic anomalia Δ [illegible] neglijabilă, astfel încît conform relației de mai sus putem considera $T_0 \cong T$

Variațiile în timp, care pot fi periodice (cu perioadă de 11 ani și d[illegible] sau neperiodice (furtuni magnetice, variații în golf, trenuri de unde etc.), se [illegible] în principal unor fenomene de inducție ca urmare a ionizării păturii înalte [illegible] sferei terestre sub acțiunea fluxului variabil de particule electrizate emise de S[illegible] urma activității solare.

După cum rezultă din cele de mai sus, prospecțiunea geomagnetică are [illegible] punerea în evidență a anomaliilor cîmpului geomagnetic, respectiv a abaterilor [illegible] valoarea normală a acestuia, produse de structura geologică ascunsă și de acumulările de substanțe minerale utile pe care aceasta le conține. Practic, obiectele geolo[illegible] se manifestă în această metodă de prospecțiune geofizică sînt în primul rînd [illegible] magmatismului de diverse tipuri în ceea ce privește descifrarea structurii geol[illegible] acumulările de minerale feroase, îndeosebi de oxizi, prin ele însele precum [illegible] alte mineralizații metalifere ori nemetalifere care au [illegible] prezența u[illegible] nerale feromagnetice.

Așadar, cîmpul geomagnetic are [illegible]

Cîmpul magnetic produs de corpurile geolo[illegible] magnetica, respectiv ceea ce am numit mai sus a[illegible] care se vor vedea mai departe, are evident aceleași dimensiuni de forță [illegible] ca și cîmpul geomagnetic de altfel, dintr-un potențial.

Potențialul magnetic Ω produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al [illegible] exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o inten[illegible] magnetizare I orientată pe direcția i într-un punct curent $P(x, y, z)$ din i[illegible] corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ [illegible]

$$\Omega = \iiint_V I \cdot \frac{\partial}{\partial i}\left(\frac{1}{u}\right) \cdot dx\, dy\, dz,$$

iar cîmpul magnetic I produs de către acest corp în același [illegible] I [illegible]

$$I = \Delta \Omega = \left(\frac{\partial \Omega}{\partial x}, \frac{\partial \Omega}{\partial y}, \frac{\partial \Omega}{\partial z}\right)$$

în care

$$X = -\frac{\partial \Omega}{\partial x}; \quad Y = -\frac{\partial \Omega}{\partial y}; \quad Z = -\frac{\partial \Omega}{\partial z}.$$

Derivînd dintr-un potențial, cîmpul magnetic reprezintă de fapt un cîmp potențial.

Acestea fiind elementele de bază care fundamentează prospecțiunea geomagnetică, să vedem acum în ce constă practic aceasta.

Mărimile care se măsoară în acest gen de prospecțiune geofizică sînt fie variațiile în cadrul unei anumite suprafețe a componentelor verticală (ΔZ) sau orizontală (ΔH) a cîmpului geomagnetic, fie ale intensității acestuia (ΔT). Aparatele folosite poartă numele de *magnetometre* și pot fi bazate pe principii de construcție diferite și anume balanțe magnetice, sonde cu saturație, precesie protonică sau pompaj optic. Precizia de măsurare variază de la un tip la altul și este cuprinsă între $\pm 30\gamma$ și $\pm 0.1\gamma$.

Măsurătorile la sol se execută în puncte situate pe profile care urmăresc căile de acces (drumuri, poteci, văi și interfluvii), astfel încît să se asigure o distribuție cît mai uniformă a punctelor de măsură în cuprinsul suprafeței de prospectat în cazul lucrărilor cu caracter regional, precum și în rețele geometrice de puncte în cazul lucrărilor de detaliu și mare detaliu. Măsurătorile aeromagnetice cu avioane sau elicoptere se realizează prin înregistrarea continuă a mărimii magnetice determinate de-a lungul unor profile liniare, folosind în general un plafon constant de zbor. În toate cazurile, valorile determinate au un caracter relativ, reprezentînd variații față de o valoare absolută sau arbitrar aleasă a unui punct din cuprinsul suprafeței de prospectat [illegible] din vecinătatea acesteia.

Valorile brute măsurate ale diferitelor mărimi magnetice, pentru a fi comp[illegible] între ele, sînt corectate cu efectele variațiilor de temperatură și ale variației d[illegible] a cîmpului geomagnetic din intervalul de timp al zilei în care au fost determinate în grupul de stații sau de profile respective. În modul acesta se constituie un [illegible] unitar, omogen și coerent de valori în raport cu situația de bază a lucrării.

Aplicarea, pentru fiecare valoare, a reducerii de cîmp normal, le transformă pe acestea în valori ale anomaliei cîmpului geomagnetic, respectiv a uneia din componentele acestuia, mărime care reflectă acum numai influența corpurilor geologice din subsol.

Prezentarea rezultatelor prospecțiunii geomagnetice se face sub formă de *hărți cu curbe de egală valoare* sau sub formă de *profile de variație a anomaliei geomag*[illegible] Acestea sînt cele două tipuri cartografice pe care le poate lua informația magnetică într-o regiune prospectată geofizic prin această metodă și care urmează a fi interpretată în termeni geologici pentru localizarea și conturarea maselor magnetice perturbante din subsol.

2.3.2. PROSPECȚIUNEA GRAVIMETRICĂ

Prospe[illegible]

O[illegible]

Pămîntul [illegible]

Pămîntul este un corp în rotație, astfel încît asupra corpurilor de pe suprafața lui va acționa nu numai o forță de atracție spre Pămînt ci și una centrifugă care va tinde să le deplaseze spre spațiul exterior pe direcția razei de rotație. Deoarece raportul intensităților acestor două forțe este net în favoarea celei de atracție — cea de rotație avînd valori cuprinse între 0 la Poli și circa 1/300 din prima la Ecuator — dominantă ca direcție, intensitate și sens rămîne componenta de atracție.

În acord cu cele precizate mai sus, cîmpul gravității — care se notează cu g — este definit ca fiind forța cu care acționează Pămîntul în rotație asupra unui corp de masă unitară situat pe suprafața acestuia sau în exteriorul lui.

Unitatea CGS de intensitate a cîmpului gravității se numește *gal* și are dimensiunile 1 cm s^{-2}. Deoarece această unitate este prea mare pentru nevoile practice ale prospecțiunii gravimetrice, se folosește un submultiplu al ei și anume *miligalul*, relația dintre acestea fiind 1 mgal = 10^{-3} gal.

Ca și cîmpul geomagnetic, cel al gravității prezintă variații în spațiu și în timp.

Variațiile în timp se datoresc interacțiunii atractive dintre Pămînt, Soare și Lună, ultimele două ca principalele corpuri cerești care își manifestă prezența din acest punct de vedere. Aceste variații, al căror efect ia forma unor maree terestre, au o predominantă periodicitate diurnă și o intensitate mică ce nu depășește ca ordin de mărime 0,2 mgal în țara noastră; în general, influența lor este neglijată în prospecțiunea gravimetrică.

Variațiile în spațiu, de la un punct la altul pe suprafața Pămîntului, ca și pe verticală spre exterior sau spre interior (în puțuri de mină sau în găuri de sondă) se datoresc masei interne a acestuia. Și în cazul gravimetriei distingem o parte regulată, datorată atracției nucleului, mantalei și scoarței, care poartă numele de *cîmp normal* și se notează cu γ_0. Acest cîmp normal este evaluat analitic în ipoteza că Pămîntul are forma definită de elipsoidul geodezic de referință adoptat internațional și o distribuție de masă cu caracter omogen în interiorul lui. Față de acest cîmp al gravității, normal, care prezintă un aspect general regulat pe suprafața Pămîntului, structurile geologice și acumulările de substanțe minerale utile din zonele superioare ale scoarței acestuia, realizînd contraste pozitive sau negative de densitate și de masă față de formațiunile înconjurătoare, exercită atracții care reprezintă abateri de la valoarea normală sau, în termeni uzuali, *anomalii gravimetrice*. Acestea sînt cele care fac obiectul prospecțiunii gravimetrice și care vor trebui interpretate în termeni geologici sub formă de structuri, accidente tectonice sau acumulări de substanțe minerale utile.

Spre deosebire de proprietățile magnetice care caracterizează numai o parte din rocile sau mineralele care intră, în diferite forme, în alcătuirea scoarței terestre, densitatea este o proprietate generală astfel încît toate formațiunile geologice ale scoarței se vor manifesta — cu o pondere diferită corelativ cu contrastul de densitate și de masă al lor — în cîmpul gravității.

Ceea ce interesează deci prospecțiunea gravimetrică sînt anomaliile gravității produse de corpurile geologice ascunse care ar putea avea un interes economic.

Potențialul gravității produs într-un punct oarecare $P_0(x_0, y_0, z_0)$ al spațiului exterior de către un corp geologic de volum V caracterizat printr-o densitate δ într-un punct curent $P(x, y, z)$ din interiorul corpului situat la distanța $u = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{1/2}$ este dat de relația

$$W = G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{1}{u} \cdot dx \cdot dy \cdot dz$$

iar cîmpul gravității g produs de către acest corp în același punct exterior P_0 va fi

$$g \cong G \cdot \iiint_V \delta \cdot \frac{z}{u^3} \cdot dx \cdot dy \cdot dz.$$

După cum se poate remarca, g a fost identificat cu derivata parțială după direcția verticală a potențialului gravității, respectiv $\partial W/\partial z$, deoarece componenta de rotație nu modifică practic direcția verticală a celei de atracție. În relațiile de mai sus G reprezintă constanta atracției universale avînd valoarea de 6,67 10^{-8} uCGS.

Așadar, ceea ce se măsoară în cadrul prospecțiunii gravimetrice este cîmpul gravității g. Aparatele folosite poartă numele de *gravimetre statice*, elementele sensibile la variațiile cîmpului gravității, fiind în majoritatea cazurilor sisteme de mase suspendate pe mai multe arcuri, atît unele cît și celelalte confecționate din metal sau cuarț topit, și atingînd precizii de ordinul $\pm 0{,}03$ mgal.

Măsurătorile au un caracter relativ, ca diferențe față de o stație de bază cu valoare cunoscută din lucrări anterioare sau arbitrar aleasă, și se execută pe circuite de stații grupate pe profile, într-o rețea oarecare sau geometrică, după caracterul lucrării de recunoaștere, detaliu sau mare detaliu. Diferențele de gravitate obținute între capetele ciclurilor executate în cuprinsul ariei prospectate sînt puse cap la cap și combinate astfel încît să se obțină poligoane închise, transversale și bucle exterioare, pentru ca să se poată controla calitatea valorilor măsurate. Erorile de închidere se compensează pe circuite închise. În felul acesta se constituie rețeaua de gravitate măsurată compensată, care conține valorile relative ale cîmpului gravității pentru întreaga rețea de stații gravimetrice în aria prospectată, ca un sistem omogen și coerent de valori ale gravității.

Pentru a obține anomalia cîmpului gravității este necesară aplicarea în continuare a unor reduceri geofizice pentru valorile la care ne-am referit mai sus. Aceste reduceri, în afară de cea de cîmp normal, urmăresc să elimine atracțiile exercitate de masele reprezentate de relieful topografic și de formațiunile geologice care se găsesc pînă la suprafața elipsoidului geodezic de referință, ca și efectul diferenței de nivel dintre poziția stației pe relief și suprafața de reducere. Eliberate de aceste influențe, valorile relative ale lui g măsurate și compensate devin g'' raportate la o suprafață unică, identică cu aceea pentru care au fost determinate valorile γ_0, și deci comparabile între ele. Astfel, *anomalia cîmpului gravității* se exprimă ca

$$\Delta g_0'' = g_0'' - \gamma_0$$

și aceasta este mărimea care reflectă numai efectul corpurilor geologice ascunse.

Reprezentarea cartografică a anomaliei cîmpului gravității, care reprezintă în sfîrșit informația gravimetrică, se poate face în două moduri: fie sub formă de hărți cu curbe de egală valoare, fie sub formă de profile de variație a acesteia.

2.2.3. PROSPECȚIUNEA ELECTROMETRICĂ

Prospecțiunea electrometrică și, mai ales, cea pentru minereuri, cuprinde un număr relativ mare de metode și tehnici bazate pe fenomene electrice diferite cum sînt existența unor câmpuri electrice potențiale naturale sau răspunsul structurii geologice la excitarea [illegible] cîmpul într-un domeniu mare de

frecvență care se înscrie între 5 cicli/s și 5 megacicli/s. În cele ce urmează ne vom referi numai la trei din aceste metode a căror aplicabilitate s-a dovedit cu rezultatele cele mai concludente în condițiile specifice ale structurii geologice și mineralizațiilor din țara noastră.

Prospecțiunea prin metoda potențialului natural. Această metodă se bazează, în primul rînd, pe activitatea electrochimică naturală care are loc în anumite condiții de zăcămînt ale rocilor sau mineralizațiilor în urma căreia, în spațiul înconjurător acestora din subsol, apare un cîmp electric propriu.

Fenomenele electrochimice principale sînt *oxidarea* și *reducerea*. Prin oxidare, roca sau mineralul pierde o cantitate de electroni, rămînînd cu o sarcină electrică pozitivă; prin reducere (cementare), fenomenul are loc invers, roca sau mineralul prezentînd o sarcină electrică negativă.

Potențiale electrice de oxidare și reducere apar îndeosebi la mineralizațiile de sulfuri metalice (mai ales pirită), oxizi (magnetit, hematit etc.), cărbuni de pămînt (ligniți inferiori, huilă, antracit), grafit și roci grafitoase. Astfel de electropotentiale nu apar însă decît în cazul în care fenomenul de oxidare este însoțit de cel de reducere, ceea ce are loc numai dacă acumularea de substanțe minerale utile îndeplinește următoarele patru condiții necesare și suficiente:

— să fie constituită dintr-o substanță bună conducătoare de electricitate;
— să aibă continuitate, adică granulele [illegible] să se [illegible] ele;
— să se dezvolte pe verticală, astfel [illegible] partea superioară a [illegible] deasupra nivelului hidrostatic al regiunii;
— substanța din care este constituită acumularea să fie [illegible].

În aceste condiții și numai în acestea, acumularea respectivă va suferi un fenomen de oxidare la partea ei superioară și unul de reducere la partea ei inferioară, căpătînd funcțiunea unei pile electrice naturale. În modul acesta, la suprafața solului apare o zonă de potențial electric negativ care poate fi pusă în evidență prin prospecțiunea geofizică și care trădează existența acumulării minerale ascunse la care a avut loc fenomenul electrochimic descris mai sus.

Electropotențialele naturale pot să mai apară și datorită unor fenomene fizice legate de circulația apelor mineralizate cum sînt difuzia, adsorbția, filtrarea și ascensiunea acestora prin capilaritate; aceste fenomene sînt însă mai puțin importante în prospecțiunea geofizică minieră.

Prospecțiunea electrometrică prin metoda potențialului natural constă în determinarea diferențelor de potențial între puncte echidistante la 10—50 m, situate pe profile liniare și constituind o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte de măsură. Aceste diferențe măsurate între două puncte învecinate se însumează algebric progresiv de-a lungul profilelor, obținîndu-se astfel variația potențialului natural pe fiecare profil în parte. Echipamentul folosit la acest gen de prospecțiune geofizică este constituit dintr-un potențiometru cu care se determină diferențele de potential, electrozi nepolarizabili și cabluri electrice.

Rezultatele prospecțiunii prin această metodă se reprezintă cartografic sub formă de hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a acestei mărimi care reprezintă cele două feluri de materializare ale informației geofizice obținută pe această cale.

Prospecțiunea prin metoda rezistivităților. Este metoda [illegible] mai largă aplicabilitate din categoria celor care se bazează pe introducerea unui curent electric continuu în subsol.

Mărimea fizică ce se determină în acest gen de prospecțiune geofizică este rezistivitatea aparentă ρ_a. Un dispozitiv de măsurare a rezistivității aparente (fig. X.38

se compune dintr-o linie de alimentare AB prin care se introduce un curent continuu în subsol (doi electrozi simpli A și B, cabluri electrice și un generator de curent continuu care debitează un curent electric de intensitate I) și o linie de măsură MN (doi electrozi nepolarizabili M și N, cabluri electrice și un potențiometru pentru determinarea diferenței de potențial ΔV care apare între M și N). Se demonstrează că

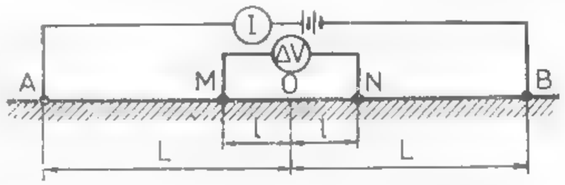


Fig. X.38. Exemplu de dispozitiv AMNB pentru determinarea rezistivității aparente.

valoarea rezistivității aparente [illegible] se raportează la punctul situat la mijlocul liniei de măsură se obține din relația

$$\rho_a = K \frac{\Delta V_{MN}}{I}$$

în care K reprezintă o constantă care depinde de geometria fiecărui dispozitiv, respectiv de cele patru distanțe dintre electrozii de alimentare și cei de măsură, precum și de factorul de spațiu 2π.

În practică se folosesc dispozitive cuadripolare AMNB cu geometrii diferite și anume: cu cei patru electrozi așezați colinear și simetrici doi cîte doi față de centrul dispozitivului (Schlumberger) sau echidistanți între ei (Wenner), ori cu trei electrozi apropiați și unul foarte îndepărtat, cu liniile AB și MN separate și coliniare sau necoliniare (pol-dipol și dipol-dipol) și altele.

Ca semnificație fizică, *rezistivitatea aparentă* reprezintă valoarea rezistivității unui subsol ipotetic, omogen și izotrop din punct de vedere electric, mărginit de suprafețe plane și orizontale, care ar da aceeași valoare a diferenței de potențial ΔV măsurată [illegible] experimentele [illegible] respectiv cu același dispozitiv AMNB și folosind aceeași intensitate de curent I. În realitate, subsolul neavînd o stratificație orizontală [illegible] nici omogen și izotrop, rezistivitatea aparentă ρ_a reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice ale rocilor care îl constituie, obținută prin măsurători de suprafața a diferenței de potențial și a intensității curentului electric, cu un dispozitiv cuadripolar adecvat.

Este necesar de precizat un lucru important și anume că adîncimea de investigare a unui dispozitiv AMNB este de 0,2 pînă la 0,5 din lungimea liniei de alimentare. Cu alte cuvinte, valoarea rezistivității aparente ρ_a determinată pe această [illegible] reprezintă media ponderată a rezistivităților specifice a rocilor din subsol pe o [illegible] considerată de la suprafața solului, de 0,2—0,5 din lungimea liniei de alimentare folosite.

Metoda rezistivității poate fi utilizată în două variante.

Una este asa-numita *profilare electrică*, utilizînd un dispozitiv AMNB de tip Wenner cu geometrie fixă, care este deplasat succesiv cu o anumită distanță de-a lungul unor profile paralele. Valorile ρ_a astfel obținute, comparabile între ele deoarece se referă la aceeași adîncime de investigație, servesc la construirea unor hărți cu curbe de egală valoare a acestei mărimi care reprezintă informația geofizică în acest caz. În funcție de caracteristicile geologice ale regiunii de prospectat pot fi folosite și alte

tipuri de dispozitive, ca de exemplu dipol-dipol, ceea ce nu schimbă însă cu [illegible] natura informației geofizice dar, pentru anumite situații particulare o îmbogățește în conținut.

— Cea de-a doua variantă este *sondajul electric vertical*. În acest caz se determină variația rezistivității aparente cu adîncimea, într-un sistem de puncte care [illegible] unei configurații geometrice sau de o formă oarecare situate la suprafața solului. Acest lucru este posibil prin modificarea succesivă în fiecare punct a lungimii liniei de alimentare AB, linia de măsură MN fiind menținută practic constantă. Dispozitivul cuadripolar folosit este de tip *Schlumberger*. Pentru fiecare lungime AB din cadrul unui sondaj electric vertical se determină valoarea rezistivității aparente și acest sistem de valori este proiectat pe o hîrtie dublulogaritmică în raport cu semilungimea [illegible] AB respective, valorile fiind apoi unite printr-o curbă continuă. Acest grafic, reprezentînd *diagrama sondajului electric vertical*, oferă o indicație asupra variației cu adîncimea rezistivităților specifice ale rocilor din subsol și reprezintă informația geofizică furnizată de sondajul electric vertical.

Metoda rezistivităților este aplicabilă practic în orice problemă de geofizică [illegible] mnieră.

Prospecțiunea prin metoda polarizației induse. Polarizația indusă apare [illegible] anumite situații geologice, atunci cînd în subsol este introdus un curent continuu — pulsat într-un singur sens sau în ambele sensuri — ori un curent alternativ. Aceasta manifestare electrică are la bază două fenomene de natură diferită, așa cum se arată [illegible]

Unul din acestea este *polarizația de electrod*. Așa cum s-a mai arătat, rocile [illegible] niște agregate poliminerale reprezintă medii de mare complexitate pentru propagarea curentului electric prin ele, conținînd granule de minerale metalice cu conductibilitate electronică și de alte minerale care se comportă practic ca niște dielectrici, precum și apă cu un oarecare grad de mineralizare caracterizată prin conductibilitate ionică.

Dacă un astfel de mediu este supus unei diferențe de potențial electric, la trecerea curentului printr-o granulă metalică se formează pe suprafețele interioare ale acesteia un strat electric simplu — negativ în zona de intrare a curentului și pozitiv în cea de ieșire a lui —, care vor atrage din soluție ionii liberi de semn contrar. În modul acesta se vor constitui, în cele două zone ale granulei metalice, două straturi electrice duble cu polaritate opusă.

La întreruperea diferenței de potențial aplicate, aceste straturi duble se distrug. Sarcinile electrice din interiorul granulei se neutralizează reciproc, refăcîndu-se echilibrul electric inițial al acesteia. Sarcinile ionilor concentrați pe cele două fețe exterioare opuse ale granulei dau acesteia caracterul unui mic condensator care se descarcă.

Descărcarea simultană a tuturor acestor mici condensatori în masa rocii, la întreruperea curentului electric, reprezintă tocmai polarizația indusă care dispare într-un timp scurt prin redistribuirea uniformă a ionilor în soluție.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a mineralizațiilor cu conținut scăzut în metal (de tip „porphyry copper", de impregnație etc.).

Cel de-al doilea fenomen generator de polarizație indusă este așa numita *polarizație de membrană*, caracteristică rocilor predominant argiloase. Dacă o astfel de rocă este supusă unei diferențe de potențial, ionii din soluția care îmbibă porii rocii sînt puși în mișcare, iar granulele de minerale argiloase au un rol de adsorbție selectivă (electrodializă) a acestora. Mobilitatea diferită a ionilor, mai mare a cationilor [illegible] mică a aniomilor, generează gradienți de concentrare ionică și prin aceasta efecte de polarizație indusă care, de asemenea, dispar după un timp scurt de la întreruperea aplicării diferenței de potențial, datorită redistribuirii în forma inițială a ionilor în soluția mineralizată.

Acest fenomen stă la baza prospectării geofizice a zonelor de alterare hidrotermală — în sensul caolinizării — a rocilor magmatice, zone cărora le sînt afiliate procese de metalogeneză și mineralizații auro-argentifere și de sulfuri complexe de tip filonian, [illegible] etc.

Prospecțiunea prin metoda polarizației induse se poate realiza în două moduri, [illegible] cînd la mărimi fizice cu dimensiuni diferite. Trebuie totuși precizat de la început [illegible] ceea ce privește conținutul geologic al informațiilor nu există deosebiri esențiale [illegible] ceștea.

O formă de astfel de prospecțiune este cea din domeniul timp, la care se folosește un curent electric continuu, pulsat de obicei în ambele sensuri. În acest caz se [illegible] următorii doi parametri:

— *polarizabilitatea aparentă* η_a

$$\eta_a = \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}}$$

care se exprimă în % sau în mV/V și reprezintă raportul dintre diferența de potențial indus determinată la un interval foarte scurt după întreruperea curentului electric și diferența de potențial care apare în timpul introducerii curentului electric.

— *factorul de încărcare* M_a

$$M_a = \int_0^t \frac{\Delta V_{PP}}{\Delta V_{MN}}\, dt$$

care se exprimă în milisecunde.

Cea de-a doua formă este în domeniul frecvență, pentru care se folosește curent [illegible] alternativ. Se măsoară următorii doi parametri:

— primul este *efectul de frecvență* F_e

$$F_e = \frac{\rho_{a_1} - \rho_{a_2}}{\rho_{a_1}} \cdot 100$$

exprimat în procente, ρ_{a_1} și ρ_{a_2} reprezentînd rezistivitățile aparente pentru frecvența [illegible] mai joasă, respectiv cea mai înaltă, a curentului introdus în subsol.

— al doilea parametru, în acest caz, este *factorul metalic* M_f

$$M_f = \frac{F_e}{\rho_{a_1}} \cdot C$$

care are dimensiuni de conductibilitate electrică, C fiind o constantă fără dimensiuni.

Dispozitivele de măsură pentru acest [illegible] de prospecțiune geofizică sînt de tip AMNB, asemănătoare cu cele folosite în metoda rezistivităților, cu preferință pentru cele dipol-dipol sau pol-dipol, cînd se execută profilare electrică, și pentru cel de tip *Schlumberger*, cînd se execută sondaj vertical de polarizație indusă. Echipamentul pentru linia AB este ceva mai complicat, în afară de generatorul de curent (în cazul în care folosim curent continuu mai este necesar un pulsator și un inversor de curent) [illegible] un timer electronic. Cel pentru linia de măsură MN este, de asemenea, [illegible] rețele integratoare, amplificatoare și un oscilograf înregistrator.

Este, de asemenea, de precizat că cu un același dispozitiv se determină totdeauna și rezistivitatea aparentă ρ_a.

Informația geofizică obținută prin metoda polarizației induse se concretizează în hărți cu curbe de egală valoare, diagrame de sondaj și secțiuni geoelectrice a diferiților parametri folosiți în această metodă.

2.2.4. PROSPECȚIUNEA RADIOMETRICĂ

Acest gen de prospecțiune geofizică are ca [illegible] punerea în evidență a unor anomalii intensități radiației γ ca urmare a dezintegrării naturale a mineralelor cu elementele radioactive acumulate în zăcăminte sau asociate unor alte tipuri de mineralizații, mai frecvent de elemente rare și disperse ori de minerale grele.

Mărimea fizică determinată este *intensitatea radiației* γ globale, în care caz se folosesc radiometre bazate fie pe ionizarea aerului la sol sau ionizarea unui amestec de gaze, fie pe fenomenul de scintilație. Introducerea mai recentă a spectrometrului permite ca pe lîngă intensitatea radiației γ globale să se determine și separat componentele acesteia, respectiv cele uranică, thorică și potasică. Se mai poate determina și concentrația radonului sau thoronului în probe de aer din sol, folosind [illegible] bazate pe ionizarea acestuia, concentrații care sînt proporționale tot cu intensitatea radiației γ globale.

Lucrările de prospecțiune radiometrică pot fi executate cu aparatură aeropurtată de elicoptere sau avioane, ori prin măsurători cu radiometre sau emanometre în diferite puncte la sol situate la distanțe de zeci sau sute de metri, atunci cînd au caracter regional; pentru lucrări de detaliu se realizează numai măsurători la sol, în rețele de puncte cu configurație geometrică sau oarecare, dar situate la distanțe de ordinul metrilor sau a cîteva zeci de metri între ele.

Valoarea brută a intensității radiației γ globale, în afară de efectul corpurilor geologice din subsol care prezintă interes, mai conține o serie de efecte provenite de la cauze neinteresante și de care trebuie să fie eliberate. Aceasta se realizează prin aplicarea următoarelor reduceri: de fond radiometric (efectele radiației cosmice și materialelor din care este construit aparatul de măsura și a formațiunilor geologice superficiale), de altitudine, de latitudine geomagnetică și de relief topografic.

După îndepărtarea acestor efecte se obține anomalia intensității radiației γ globale în fiecare punct de măsurare, care servește la construirea de hărți cu curbe de egală valoare sau de profile de variație a acestei mărimi. Aceste două forme de exprimare cartografică reprezintă informația geofizică obținută prin această metodă de prospecțiune.

2.2.5. PROSPECȚIUNEA SEISMOMETRICĂ

Această metodă de prospecțiune geofizică este destinată aproape în exclusivitate studierii structurii cuverturilor sedimentare și se bazează pe producerea la suprafață sau la adîncimi mici a unui cîmp de unde elastice — din care utile prospecțiunii sînt numai cele longitudinale — și valorificarea acelor unde care, fiind deviate de [illegible] lor spre în jos prin reflexie sau refracție pe anumite limite de separație dintre [illegible] sau formațiuni geologice, se întorc la suprafață unde sînt înregistrate la intervale de timp riguros determinate față de momentul producerii lor. Devierea undelor elastice pe

limite de separație care despart medii cu viteze de propagare v_1 și v_2 este controlată de legea lui Snell:

$$\frac{\sin i}{\sin d} = \frac{v_1}{v_2}$$

în care i și d sînt unghiurile de incidență, respectiv de deviere, pe limita de separație.

Echipamentul folosit în prospecțiunea seismometrică este foarte complicat, de fapt cel mai complicat dintre toate metodele geofizice.

Pentru producerea cîmpurilor de unde elastice se folosesc explozii cu cantități relativ mici de exploziv care se produc în găuri burate, săpate cu instalații autopurtate de foraj sau manual; condiția este ca explozia [illegible] în roca vie, respectiv [illegible] să depășească grosimea stratului de suprafață care este caracterizat prin viteze mici fiind constituit din roci slab consolidate — în general cuaternare — sau alterate.

Înregistrarea sosirii la suprafață a undelor elastice deviate de diferite limite de separație din subsol se face pe o seismogramă, pe care se poate determina atît momentul exploziei cît și sosirile diferitelor unde. Obținerea acestor înregistrări se realizează pentru un punct oarecare situat la o distanță anumită de punctul de explozie, folosind un canal seismic și o cameră de înregistrare. Un canal seismic este compus dintr-un geofon (traductor de semnal care transformă oscilațiile solului apărute în momentul sosirii undei în variații de curent electric) plasat în punctul respectiv, [illegible] electric, o aparatură de prelucrare a semnalului (amplificatoare, filtre, regulator de amplitudine, mixer etc.) și un galvanometru (traductor de semnal care transformă variațiile de curent electric din nou în deplasări). Camera de înregistrare conține un tambur acționat de un motoraș electric, pe tambur derulîndu-se o banda de hîrtie fotosensibilă sau un film foto pe care cade spotul luminos reflectat de oglinda galvanometrului, un marcator de timp și alte elemente cu funcțiuni auxiliare. Cu o astfel de aparatură se obține o înregistrare oscilografică.

Mai nou a fost realizată aparatură seismică cu înregistrare magnetică, analogică sau digitală. Diferența dintre acestea și cea cu înregistrare oscilografică constă în faptul că în canalul seismic galvanometrul este înlocuit cu un [illegible] electromagnetic de înregistrare și, semnalul seismic brut, fără a fi prelucrat electronic, este înregistrat direct pe o bandă magnetică ce reprezintă acum magnetoseismograma. Prelucrarea magnetoseismogramei are loc într-un analizor care permite să se realizeze o serie de prelucrări (filtrări, amplificări, convoluții, auto și retrocorelații etc.) și transformate în reprezentări grafice cu ajutorul unui cap de redare.

Prospecțiunea seismometrică se execută pe profile liniare, constituite din dispozitive succesive. Un dispozitiv conține un punct de explozie și o serie de puncte de înregistrare, echidistante și situate la intervale diferite în funcție de metoda folosită — *refracție* sau *reflexie* — și de numărul canalelor echipamentului de înregistrare care poate fi, în general, între 6 și 48.

În geologia minieră se folosesc ambele variante ale prospecțiunii seismometrice.

Pentru acumulările reziduale de bauxită sau pentru masivele de sare, mai eficientă este varianta bazată pe refracția undelor elastice. În acest caz se folosește unda directă, care se propagă prin limita aer/sol și unda frontală care se propagă prin limita de separație cu viteza mediului inferior v_2. În ipoteza că limita de separație este orizontală, iar mediile sînt omogene și izotrope din punct de vedere elastic, timpii

de propagare a acestor două unde pînă la un geofon situat la distanța x de punctul de explozie vor fi

fiind adîncimea limitei de separație, iar i_r unghiul critic de incidență care generează unda frontală.

După cum se poate lesne remarca, relațiile de mai sus — care mai poartă numele și de *ecuațiile hodografului undelor refractate* — au ca echivalent geometric prima o semidreaptă care trece prin origine și are panta $1/v_1$ și a doua o semidreaptă care nu trece prin origine și are panta $1/v_2$. Reprezentarea grafică într-un sistem de coordonate cu x în abscisă și t în ordonată oferă toate elementele pentru determinarea adîncimii z a suprafeței de refracție, v_1 și v_2 fiind determinate din pantele segmentelor din grafic, iar i_r fiind — conform legii lui *Snell* pentru $\alpha = 90°$ — dat de relația $\sin i_r = v_1/v_2$ (fig. X.30).

S-a schițat în cele de mai sus calea de rezolvare a problemei pentru o limită de separație orizontală, deoarece relațiile drum-timp în acest caz sînt mai simple.

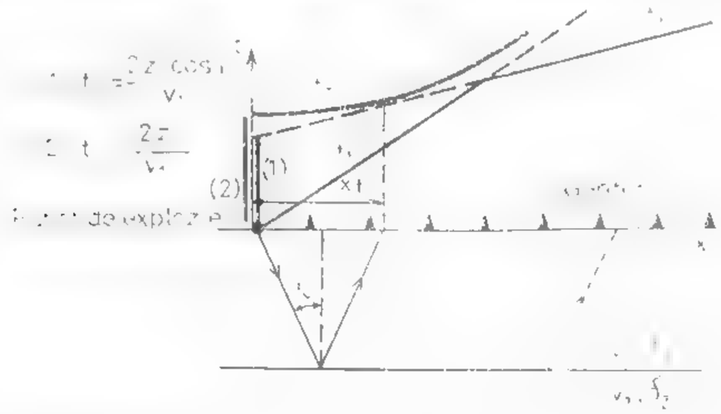


Fig. X.30. Hodografii de reflexie și refracție în cazul unei limite de separație orizontală

Principial însă, problema are soluție și pentru o limită de formă oarecare, de altfel cazul cel mai frecvent și rezolvabil prin această variantă.

Pentru cărțile stratiforme de cărbuni, roci cu sulf, grafit, fosforite și altele situate la adîncimi mai mari, mai eficientă este varianta de prospecțiune seismometrică bazată pe reflexia undelor elastice. Reflexia este o undă care la atunci cînd unghiul de incidență este mai mic decît unghiul critic i_r, astfel încît unda să se reîntoarcă la suprafață prin același mediu prin care s-a propagat către în jos.

Vom arăta și pentru această variantă, principial, care este soluția problemei, pornind tot de la cazul cel mai simplu, și anume al unei limite orizontale de separație care desparte două medii omogene și izotrope din punct de vedere elastic. În această situație, ecuația hodografului undei reflectate pentru un punct oarecare situat la distanța x de punctul de explozie este

$$t = \frac{1}{v_1}\sqrt{x^2 + 4z^2}$$

z fiind și în acest caz adîncimea limitei de separație, respectiv a suprafeței de reflexie.

De data aceasta, echivalentul geometric al ecuației drum-timp nu mai este o semidreaptă, ci o hiperbolă. Este clar că cunoscînd pe x și v_1, se poate determina imediat adîncimea z. În practică, se construiește și pentru acest caz un grafic în raport cu x și t, din care se poate deduce atît viteza v_1 cît și adîncimea z. Și pentru reflexie, trecerea de la o limită orizontală la una înclinată sau de formă oarecare se face fără dificultăți de principiu.

Intervalele de timp scurse între momentul exploziei și sosirea undelor elastice la fiecare geofon, notate în relațiile de mai sus cu t și care sînt măsurate pe seismograme, trebuie în prealabil corectate cu efectul reliefului (diferența de cotă topografică între punctul de explozie și geofon), precum și cu efectul zonei de viteze mici de la suprafață. După aceea se construiesc hodografii și se determină forma și poziția în adîncime a suprafețelor de refracție, respectiv de reflexie.

Rezultatele prospecțiunii seismometrice se concretizează în secțiuni seismice conținînd, în planul vertical al profilului, suprafețele de refracție sau de reflexie. Pe baza unui sistem de profile, care au și puncte comune între ele, se pot construi apoi hărți structurale cu izobate pentru fiecare suprafață de deviere a undelor elastice. Acestea sînt formele pe care le îmbracă informația geofizică în cazul acestei metode de prospecțiune.

2.2.6. PROSPECȚIUNEA GEOTERMICĂ

Prospecțiunea geotermică are ca obiect determinarea anomaliilor de temperatură la suprafața Pămîntului, ca rezultat al existenței unor cîmpuri termice naturale de răspîndire locală, care iau naștere datorită unor reacții exotermice (fenomene de oxidare ale unor mineralizații de sulfuri sau a capetelor de strate de cărbuni) sau endotermice (fenomene de dizolvare a sării și altele).

Aparatura necesară este reprezentată de termocuple, termopile sau, mai nou, termometre cu punte electrică avînd ca element termosensibil unul sau mai mulți termistori, a căror precizie de determinare a temperaturilor este de $\pm 0{,}1°C$. Măsurătorile se execută în găuri de circa 2 m adîncime, realizate cu instalații ușoare de foraj mecanic sau manual și de preferință închise la partea superioară după coborîrea aparatului, pentru a se elimina influența temperaturii exterioare. Echilibrul termic, în aceste condiții, este realizat în circa 1 oră, însă durata unei măsurători pentru atingerea preciziei dorite este indicat să fie mai mare, și anume de 2—3 ore.

Măsurătorile se execută într-o rețea pătratică sau dreptunghiulară de puncte, cu distanța între ele de ordinul metrilor pînă la zeci de metri.

Pentru stabilirea anomaliilor geotermice este necesar ca valorilor brute de temperatură măsurate în găuri să li se aplice reduceri pentru eliminarea efectelor radiației

solare, a vegetației de la suprafață și a reliefului topografic. Rezultatele sînt consemnate în hărți cu curbe de egală valoare sau profile de variație a temperaturii, ambele reprezentînd forme de exprimare grafică a informației geofizice furnizată de această metodă.

2.2.7. TELEDETECȚIA

Teledetecția reprezintă un complex de tehnici și tehnologii care urmăresc obținerea de la distanță a unor informații asupra Pămîntului, unor planete, spațiului aerian și a celui interplanetar. Fenomenele fizice pe care se bazează sînt reflexia, refracția și absorbția undelor electromagnetice, precum și emisii ale acestora de către anumite corpuri ca urmare a interacțiunii cu ele.

După cum este cunoscut, spectrul de frecvență, respectiv de lungimi de undă λ, al undelor electromagenetice este foarte mare și acesta se împarte în cîteva zone distincte și anume: radiația γ (λ < 0,1 Å); radiația X (λ = 0,1 Å – 100 Å); radiația ultravioletă (λ = 100 Å – 4 000 Å); radiația luminoasă sau spectrul vizibil (λ = 0,400 – 0,750 μm); radiația infraroșie (λ = 0,750 – 100 μm); unde ultrascurte sau radar (λ = 100 μm – 140 cm); undele radio (λ de la 140 cm pînă la cîteva sute de km).

Ne vom opri atenția numai asupra aplicației teledetecției la studierea Pămîntului. Sursa principală de energie a suprafeței Pămîntului o constituie energia radiată de către Soare. Suprafața terestră reflectă, absorbe și emite energie. Din energia primită de la Soare numai 22% este mapoată ca radiație difuză de către scoarța terestră, restul fiind absorbit de atmosferă și spațiul cosmic. La aceasta se mai adaugă, în situații favorabile, energia termică ce provine din interiorul Pămîntului.

Această energie prezentă la suprafața terestră este înregistrată de la distanță cu echipamente adecvate, denumite *captori-sensori*. Captorii pot fi *fotografici* (camere fotografice normale, metrice sau dispozitive fotografice multispectrale), *radiometre* (în domeniul vizibil, infraroșu sau sisteme termovizion) și *spectrometre*. Senzorii pot fi *de baleiere* (optico-mecanică, în infraroșu, în ultraviolet și multispectrală), *de televiziune* (camere de televiziune sau sisteme de foto-televiziune) și *radar*. Se disting două tipuri de senzori *pasivi*, atunci cînd aceștia înregistrează energia naturală provenită de la obiectul de studiu și *activi*, cînd se transmit impulsuri către obiect și se primește răspunsul acestuia, cum este în tehnicile radar și sonar.

Echipamentele de înregistrare sînt plasate pe platforme [illegible] deasupra suprafața Pămîntului. Aceste platforme pot fi aeriene (la[illegible] elicoptere dirijabile, planoare) sau spațiale (circumterestre fără sau cu [illegible] și extra terestre, pînă în prezent fără oameni la bord).

În teledetecție se folosește atît fotografia convențională [illegible] și color și cea neconvențională — spectrozonală, multispectrală, falsă culoare și culoare compusă. De asemenea, este utilizată preluarea nefotografică a imaginilor, prin înregistrarea radiațiilor în scopul realizării de imagini multispectrale, avînd la bază conversia energiei radiației electromagnetice în semnale electrice.

Datele înregistrate de la distanță sînt stocate sub formă de imagini fotografice sau pe benzi magnetice. Se disting *stocări analogice* — fie fotografii, fie benzi magnetice care prin prelucrare ulterioară se transformă în fotografii alb-negru, color convențional sau cultural —, precum și *stocări digitale* care de asemenea se transformă în astfel de imagini fotografice sau în listaje de valori.

Reiese, din cele de mai sus, că informația geofizică obținută prin teledetecție este reprezentată de fotografii sau liste de valori.

Interpretarea acestor informații se face fie cu ochiul liber, prin studiere directă sau cu instrumente optice în sistem stereoscopic ori monoscopic, fie pe bază de programe pe calculatorul electronic. În toate cazurile se folosesc modele de interpretare stabilite cu ajutorul unor zone-test de pe suprafața Pămîntului, avînd caracteristici cunoscute sau alese în mod deliberat.

În concluzie, se poate spune că teledetecția reprezintă un complex de activități constînd din înregistrarea de la distanță a radiației electromagnetice de către un sensor, transformarea acesteia în imagini fotografice sau în semnale electrice, transmiterea lor către memoria unui calculator electronic, prelucrarea, corectarea și transformarea tot cu ajutorul calculatorului în imagine vizuală, selecționată sau clasificată și interpretarea acestea prin comparare cu eșantioane avînd caracteristici definite.

Aplicațiile teledetecției în geologie sînt încă relativ restrînse. Pe lîngă fotointerpretarea aerofotogramelor care aduce elemente în sprijinul cartării geologice (diferențierea litologică a stratelor, stabilirea poziției lor, determinarea faliilor și fracturilor etc.) mai importante sînt următoarele:

- interpretarea înregistrărilor în infraroșul termic (λ = 3 – 20 μm) care pune în evidență diferențele și variațiile de temperatură și umiditate la suprafața terestră sau din profunzime reflectînd inerția termică a diferitelor tipuri de roci sau de acumulări de substanțe minerale utile;
- interpretarea imaginilor și mozaicurilor realizate prin folosirea radarului, care pun în evidență unele trăsături liniare ale structurii geologice, mai pronunțat marcate decît pe fotografia aeriană, legate de falii, fracturi sau forme plicative de cutare.

Principalele informații de teledetecție au fost obținute prin *programul Landsat* (sateliții ERTS-1 lansat în 1972, EROS în 1975 și Landsat 3 în 1978, cu orbite circumterestre la circa 900 km înălțime față de suprafața Pămîntului). Ca rezultate mai importante, pînă acum se pot menționa delimitarea unor zone hidrotermale cărora le sînt asociate depozite minerale în Nevada (S.U.A.), studierea și testarea caracteristicilor reflectate în teledetecție de zăcămintele de cupru din Pakistan care au fost apoi folosite pentru descoperirea de noi mineralizații și altele.

Teritoriul țării noastre, este acoperit în întregime, cu 25 de imagini obținute prin sateliții *Landsat* 1, 2 și 3, iar interpretarea geologică a acestora este în curs de realizare.

2.2.8. CERCETĂRI GEOFIZICE ÎN SUBTERAN

O categorie aparte de măsurători geofizice, care nu mai au caracter propriu-zis de prospecțiune și pe care am putea-o numi *geofizică de mină* (Botezatu, 1971), o reprezintă cercetările geofizice în subteran, respectiv în puțuri, galerii și orizonturi miniere, suitori și planuri înclinate. Scopul principal al acestor măsurători este de a obține informații suplimentare asupra dezvoltării spațiale a mineralizațiilor traversate de astfel de lucrări, precum și asupra existenței eventuale a unor alte acumulări minerale nepuse încă în evidență și situate în orice direcție a spațiului, în raport cu lucrările miniere existente, pînă la distanțe de investigație corespunzătoare performanțelor aparaturii și tehnicii de lucru existente la un moment dat.

Față de lucrările de prospecțiune, cele efectuate în subteran se lovesc de la început de o dificultate principială și anume: în prospecțiune, cîmpurile fizice măsurate sînt produse de obiecte geologice cu rol de surse de potențial situate în subsol, deci într-un semispațiu 2π, în timp ce în cazul cercetărilor în subteran măsurătorile se

efectuiază chiar în interiorul, lateral sau dedesubtul surselor de potențial, așadar într-un spațiu întreg 4π. Această situație implică o serie de complicații de natură teoretică privind semnificația mărimilor fizice determinate, precum și necesitatea introducerii unor corecții și forme de reprezentare grafică specifice acestui gen de măsurători geofizice.

Aparatura folosită pentru cercetările geofizice în subteran este aceeași care se utilizează și în metodele de prospecțiune; tehnicile de lucru sînt însă modificate, adaptate condițiilor din subteran.

Măsurătorile geofizice cele mai larg folosite în subteran sînt cele radiometrice. De altfel, radiometria nu se limitează numai la faza de prospecțiune de la suprafață, ci însoțește continuu — servind ca un mijloc rapid de control — toate lucrările, începînd cu explorarea și apoi cu exploatarea, sortarea masei minere utile și eliminarea sterilului și terminînd cu determinarea indirectă a conținutului producției miniere.

Măsurătorile magnetice practic sînt imposibil de efectuat în subteran din cauza prezenței masive a unor obiecte de fier (șine de cale ferată îngustă, vagoneți, scule, conducte de aeraj, cabluri electrice și altele).

Cercetările gravimetrice nu au astfel de limitări, așa încît acestea se pot efectua cu relativ destul de mult succes, deși comportă calcule foarte laborioase îndeosebi pentru reducerea efectelor create de excavațiile miniere. Pe baza unor astfel de măsurători în puțuri și galerii la mai multe nivele, ca și în orizonturile miniere, se pot construi hărți gravimetrice de orizont și secțiuni gravimetrice verticale cu ajutorul cărora se pot obține indicații utile asupra delimitării în spațiu a corpurilor geologice care au produs anomaliile gravimetrice ce au fost cartate la suprafață.

Rezultatele cele mai valoroase se obțin prin măsurători electrometrice. Acestea pot fi făcute folosind metoda potențialului natural, urmărind corelarea anomaliilor din subteran cu cele determinate la suprafață, pentru stabilirea unor criterii de discriminare între anomaliile produse de mineralizații de interes economic și cele produse de diseminări neimportante sau de alte cauze neinteresante cum sînt rocile grafitoase sau unele tipuri de roci porfirogene, zone de caolinizare puternică și altele. De asemenea, metoda rezistivităților poate aduce în unele situații informații deosebit de interesante, ca de pildă folosind o variantă de concepție românească a sondajului electric de rezistivitate; aceasta este reprezentată de sondajul electric cu orientare de investigație dirijată pe direcții orizontale sau verticale față de axa galeriei și construirea de secțiuni geoelectrice care dau indicații asupra surselor de anomalii electrice situate lateral față de pereții galeriei, deasupra sau dedesubtul acestora. Folosind în afară de rezistivitatea aparentă și parametrii polarizației induse, spectrul informațional este sensibil îmbunătățit.

Metodele electromagnetice încorporează și o variantă specifică lucrărilor în subteran numită *metoda umbrei electromagnetice* sau *metoda transparenței*.

Această metodă se bazează pe proprietatea pe care o au mediile bune conducătoare de electricitate de a avea un coeficient mare de absorbție a undelor electromagnetice de înaltă frecvență, respectiv cu frecvențe de ordinul de mărime al undelor radio. În aceste condiții, undele electromagnetice vor străbate relativ ușor rocile cu conductibilitate electrică mică însă nu vor putea străbate aproape de loc corpurile de mineralizații metalifere care se găsesc eventual în astfel de roci, între două orizonturi miniere sau între cel superior și suprafață. Pentru localizarea acestor corpuri se folosesc cadre emițătoare și receptoare plasate succesiv la două nivele, prezența corpului conductor producînd un con de umbră în care semnalul transmis nu se manifestă în cadrul receptor. Prin inversarea plasării cadrelor emițătoare cu cele receptoare se obține un al doilea con de umbră, la intersecția celor două conuri, între cele două orizonturi

[illegible] putîndu-se localiza corpul cu mineralizație metaliferă la un grad de încredere indicat.

Celelalte metode geofizice, ca cea seismometrică sau geotermică de pildă, nu au cunoscut decît încercări sporadice de aplicare, cu rezultate nu întotdeauna concludente.

Marile avantaje ale cercetărilor geofizice în subteran sînt pe de o parte că ele se efectuează la distanțe relativ mici față de acumulările de substanțe minerale utile, ceea ce se reflectă într-o intensitate mai ridicată a anomaliilor și o localizare mai precisă a cauzelor care le produc, și pe de altă parte, că rezultatele unor astfel de cercetări pot fi repede controlate prin foraje GP sau nișe, astfel încît pot servi la orientarea mai judicioasă a lucrărilor de explorare și de exploatare.

2.3. ÎNTERPRETAREA GEOLOGICĂ A INFORMAȚIILOR GEOFIZICE CONDIȚIONATE DE ACUMULĂRILE DE SUBSTANȚE MINERALE SOLIDE

În esență, interpretarea geologică a informației geofizice, respectiv — așa cum a fost definită — a suportului material al mesajelor fizice și geologice provenite din [illegible] acesteia într-un model al structurii geologice ascunse [illegible] substanțe minerale utile pe care ea le conține. Practic [illegible] de determinare localizarea în subsol, forma și dimensiunile, natura și tipul geolog[illegible] mineralogic și, în general, de a stabili o imagine cît mai completă asupra obiectului sau [illegible] geologice de prospectat, inaccesibile observației geologice directe, dir[illegible] informat[illegible] rezultat al unor măsurători de cîmpuri fizice efectuate [illegible] Pămîntului.

[illegible] particulare în care geofizicianul își desfășoară activ[illegible] a el să opereze cu *modele geofizice*. De la început tre[illegible] pentru a construi un model este necesar a simplifica. Se impune, de [illegible] este model[illegible] fie flexibile, versatile, să aibă caracteristici care [illegible] pe baza informațiilor geofizice, petrofizice și geologice de care dispunem. Dacă potrivirea nu este bună, atunci modelul trebuie modificat, uneori printr-un proces de aproximații succesive, pînă cînd va corespunde cel puțin în limite acceptabile. Un astfel de model geofizic va fi folositor numai atunci cînd va fi capabil să reproducă cele mai semnificative trăsături caracteristice ale informațiilor de la care s-a plecat la elaborarea și optimizarea lui.

Privit pe un plan foarte general, un model este pur și simplu un set ordonat de prezumții referitoare la un sistem complex. Prin selectarea, pe baza percepțiilor și a unei experiențe [illegible], a unui grup de observații generale aplicabil la o anumită problemă se face o încercare de înțelegere a informației de la care se pleacă. Un model geofizic reprezintă incorporarea teoriei și a informațiilor obținute experimental, furnizate de prospecțiunea geofizică. Din necesitate, el trebuie să reprezinte un compromis între simplitate și realitate. Niciodată nu va putea fi un model atotcuprinzător, deoarece realitatea geologică [illegible] este întotdeauna foarte complexă și complicată. Rolul principal al modelului geofizic este de a explica semnificația geologică a informațiilor obținute pe cale indirectă. Ca orice model, în oricare din științele experimentale, el rămîne totuși imperfect, suprasimplificat și nefinisat, reprezentînd — în ultimă instanță [illegible] completă, cu caracter simulativ, a realității geologice

Modelele geofizice pot fi de două feluri și anume

calitative, atunci cînd se bazează pe corelații și speculații logice, deci operații pur mintale, transpuse apoi într-un text explicativ;

cantitative, atunci cînd la cele de mai sus se adaugă determinări de formă, dimensiuni, adîncimi etc. pe baza unor calcule privind sursele de anomalii geofizice și de efecte ale acestora care se compară cu anomaliile cartate pînă la obținerea unei concordanțe satisfăcătoare între ele.

Forma de prezentare a modelelor geofizice, conținînd caracteristicile principale ale acestora, este întotdeauna grafică, adaptată și paralelizată formelor de reprezentare folosite în activitatea geologică, respectiv secțiuni, hărți structurale, bloc-diagrame, machete etc. Prin astfel de forme de reprezentare grafică modelul geofizic de simulare se încadrează în suita modelelor construite numai pe baza informațiilor geologice, contribuind la creșterea gradului de înțelegere și de cunoaștere a structurii geologice ascunse a subsolului.

În cele ce urmează vom prezenta cîteva cazuri de interpretare geologică a informațiilor geofizice pentru principalele grupe de substanțe minerale utile solide care fac obiectul activității minere.

2.3.1. MINERALIZAȚII DE METALE FEROASE

În această grupă sînt incluse în primul rînd mineralizațiile de fier și de mangan; tot din aceasta fac parte și cele de titan, crom, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și altele. La detectarea unor astfel de mineralizații prin metodele geofizice pot fi folosite — după caz, în funcție de tipurile de componenți minerali principali și secundari, de conținuturile acestora și de natura formei de zăcămînt pe care o au — metodele magnetometrică, electrometrică, radiometrică sau gravimetrică.

În mod normal, mineralizațiile de siderit nu pot fi puse în evidență prin magnetometrie deoarece acest mineral are o valoare foarte redusă a susceptibilității lui magnetice, practic comparabilă cu cea a rocilor care le găzduiesc. În zona Ruschița din Masivul Poiana Ruscă, mineralizațiile de fier, sub formă de lentile stratiforme concordante cu șisturile cristaline în care se găsesc incorporate, sînt constituite din siderit cu o cantitate redusă de magnetit, la partea superioară sideritul trecînd în limonit, iar la cea inferioară în ankerit. Lentilele au dimensiuni mici și prezintă o dispersare mare în suprafață. În sectorul Pîrîul Nisipului — Ruschița, așa cum a arătat *Bărbat* (1958), datorită faptului că mineralizația de siderit conține puternice impregnații de magnetit și pirită, aceasta produce anomalii magnetice intense depășind, ca variație totală, 10 000 γ. În fig. X.40 este reprodus exemplul a două astfel de lentile de siderit.

Un caz foarte interesant de reflectare în informațiile geofizice a unor mineralizații de fier și magnan îl reprezintă acumulările reziduale din zona Moneasa-Vașcău, Munții Apuseni. Acumulările se găsesc situate pe reliefurile carstice negative (doline, paleovăi) ale calcarelor și dolomitelor triasice umplute cu nisipuri, argile și tufuri vulcanice de vîrstă terțiară, peste care se găsește parțial o pătură de sol.

Mineralzația este constituită de un orizont inferior manganos (piroluzită, manganit fibros, hauerit etc.) și de unul superior — cu unul sau chiar două nivele — feruginos (limonit, hematit, argilă feruginoasă, oolite feruginoase etc.) și se prezintă sub formă de blocuri dispersate în masa argilelor, tufurilor și nisipurilor.

Cercetarea electrometrică (Bărbat, 1950), a conturat în bune condițiuni, prin valorile rezistivității aparente ρ_a, forma și dimensiunile cuvetelor de depozite terțiare groase în care sînt șanse să existe acumulări de mineralizații. În fig. X.41 este reprodus un profil al variației ρ_a în paralel cu secțiunea geologică, din care se poate observa ușor corelația dintre informația electrometrică, relieful calcarelor și prezența mineralizațiilor de fier și de mangan. Informația magnetică, obținută ulterior (Bărbat, 1958), a localizat prin anomalii ΔZ de ordinul a 10 000 γ sectoarele în care este prezentă mineralizația.

Fig. X.40. Imaginea anomaliei magnetice ΔZ în zona Pîrîului Nisipului — Ruschița (după T. Bărbat, 1958).

Acumulările de oxizi de fier și, îndeosebi cele de magnetit, sînt întotdeauna prospectabile geofizic pe cale magnetică.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă cazul lentilelor de magnetit din zona Băișoara — Mașca, Munții Apuseni, genetic legate de produsele magmatismului banatitic. Aceste produse, sub formă de corpuri intrusive granodioritice din care se desprind, datorită diferențierilor magmatice, dyke-uri și silluri de andezite și dacite, au transformat rocile de la contactul cristalin/sedimentar. Urmare acestor transformări au luat naștere corneene impregnate cu pirită, blendă, galenă, calcopirită și pirotină, precum și skarne cu magnetit și pirotină. De importanță economică, cel puțin deocamdată, sînt în primul rînd lentilele pirometasomatice de magnetit localizate

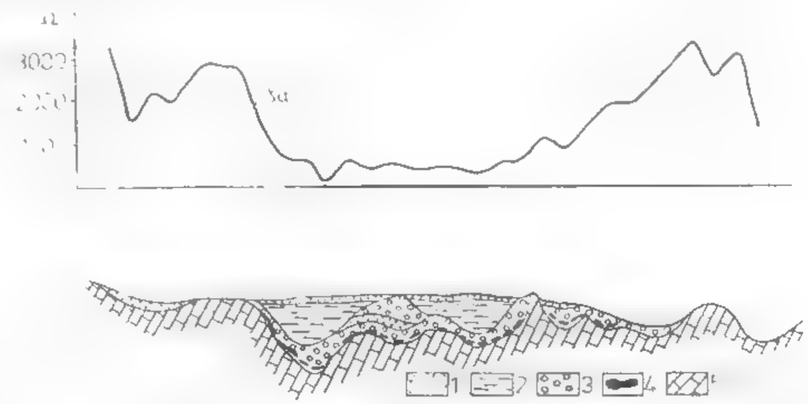


Fig. X.41. — Secțiune longitudinală prin zăcămîntul rezidual de fier și mangan de la Corbu, zona Moneasa-Vașcău, în paralel cu variația rezistivității aparente ρ_a:

1 — sol; *2* — argilă caolinoasă; *3* — minereu de fier; *4* — minereu de mangan; *5* — calcar (după T. Bărbat, 1950).

în skarne. După cum a fost arătat (Romanescu, 1964), deoarece susceptibilitatea magnetică a banatitelor din această zonă are o valoare foarte scăzută și practic comparabilă cu cea a rocilor cristaline și a celor din cuvertura sedimentară, singura sursă de anomalii magnetice o reprezintă lentilele de magnetit în contrast de sute pînă la zeci de mii de unități de susceptibilitate. Acestea, în funcție de mărimea și adîncimea

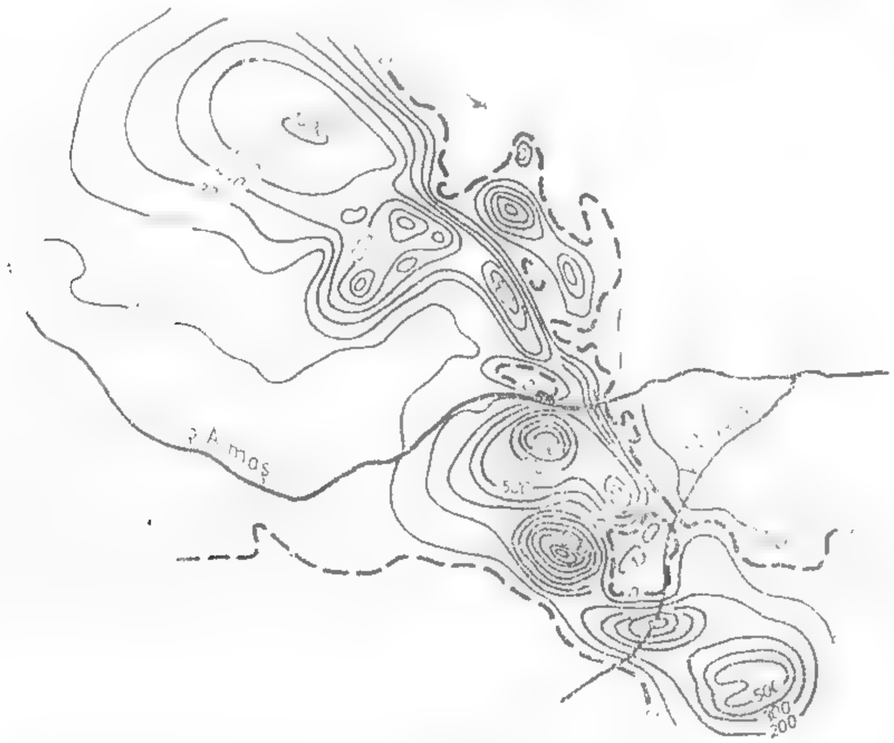


Fig. X.42. Imaginea anomaliilor magnetice din zona centrală a zăcămîntului de fier Băișoara-Mașca (după D. Romanescu, 1964).

la care se produc anomalii magnetice cu intensități de cîteva mii de γ, au importanță practică pentru proiectarea explorării și apoi deschiderea exploatării unei asemenea zone. În fig. X.42 este reprodusă imaginea anomaliilor magnetice din zona centrală a acestui zăcămînt de fier.

Forma foarte neregulată a acestor lentile pune probleme grele în ceea ce privește exploatării lor. O încercare de îmbunătățire a eficienței acestor activități a fost făcută prin cercetările gravimetrice efectuate în subteran de către *Rusu* și *Sava* (1977). Aceștia au constat din determinarea unei secțiuni gravimetrice verticale prin Puțul 2 Băișoara și în cele cinci galerii transversale de la orizonturile 80, 120, 160, 200 m, la care se adaugă profilul de la suprafață. Informația gravimetrică în această zonă a fost avantajată de faptul că contrastul de densitate dintre lentilele de minerai și rocile netransformate prin procesele de metasomatism de contact este foarte mare, atingînd valoarea de 2,00 g/cm³. În fig. X.43 este reprodus rezultatul acestor cercetări.

Ele au arătat reiese că mineralizația prezentă între orizonturile 80 și 200 are o extindere considerabilă atît pe verticală față de cea cunoscută din lucrările miniere, cît și lateral în direcția perpendiculară, în ambele sensuri, față de planul secțiunii.

Rezultate concludente a a lus informația magnetică și pentru mineralizațiile de fier de la Palazul Mare, Dobrogea, de la Poiana Iazuri din Masivul Poiana Ruscă, zăcămintele de magnetită titaniferă și vanadiferă de la Ciungani—Căzănești din Apusul și altele.

Cercetările geofizice efectuate în Delta Dunării și în zona aezatorială de pe platforma continentală din fața acesteia au scos în evidență capacitatea radiometriei de a pune în evidență acumulările de minerale grele din nisipurile aluvionare, interesante pentru conținutul lor în titan și zircon. În fig. X.44 este reprodusă imaginea anomaliei radiometrice din zona grindului Sărăturile, situat la nord de localitatea Sfîntu Gheorghe-Deltă, generată de o astfel de zonă de concentrare, care este dublată de o altă zonă de maxim radiometric paralelă și situată la o distanță de circa 1,5 km

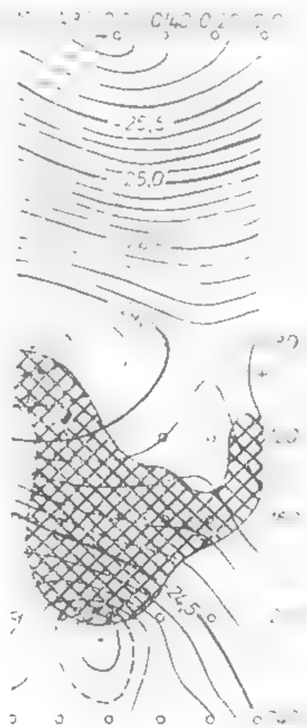


Fig. X.44. Imaginea anomaliei radiometrice produsă de acumularea de minerale grele din grindul Sărăturile (după L. Brătășanu et al. 1972).

Fig. X.43. — Secțiune gravimetrică verticală prin Puțul 2 Băișoara și extinderea probabilă a mineralizației de fier în planul secțiunii (după D. V. Rusu și C. S. Sava, 1977).

←

în Marea Neagră (Brătășanu et al., 1972). Cauza acestor anomalii este prezența în asociație de minerale grele a monazitului și zirconiului, care împreună produc circa 75% din intensitatea radiației γ globale, restul fiind cauzat de celelalte minerale (ilmenit, magnetit, granați și altele); mai mult decît atît, s-a putut demonstra că există o dependență practic liniară între concentrațiile în titan și zircon și intensitățile cîmpului radiației γ globale (Gohn et al., 1972), ceea ce asigură o bază de evaluare în primă aproximație a importanței economice a acumulărilor după intensitatea anomaliilor radiometrice.

2.3.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE

În această grupă sînt cuprinse mineralizațiile de cupru, plumb, zinc, stanin și aluminiu, pentru a nu cita decît metalele mai importante, care pot fi prospectate cu ajutorul metodelor geofizice. Poate mai mult decît pentru orice alte feluri de minerii

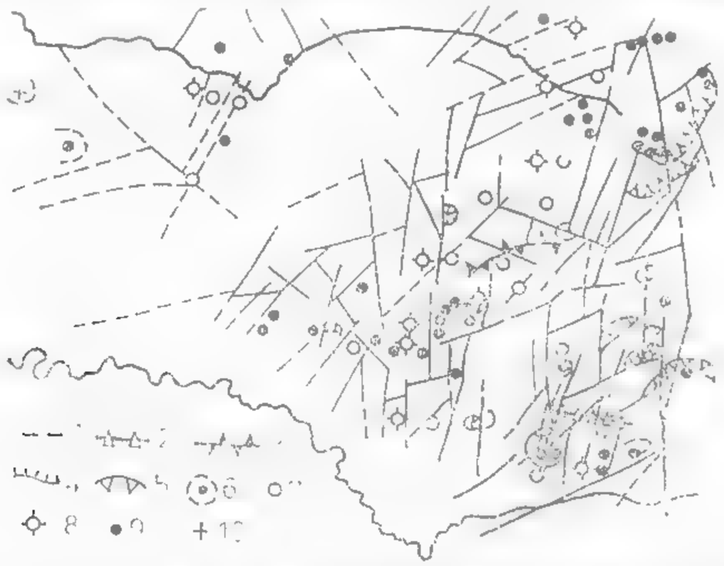


Fig. X.45. Modelul structural geologic al Munților Gutîi construit pe baza unei înregistrări multispectrale Landsat

1 — accidente tectonice verticale; 2 — alinamente de centre de erupție; 3 — alinamente de corpuri diverse; 4 — fracturi de [illegible] de lave; 5 — unite de eruper, cenozoic; 6 — criptovulcani probabili; 7 — structuri vulcanice; 8 — aparate vulcanice; 9 — [illegible]; 10 — [illegible] erupție probabile (după H. Zegheru, M. Albotă, 1979)

lizații, cele din grupa metalelor neferoase și îndeosebi, cele de afiliație magmatică și de tip hidrotermal — impun o prealabilă desfășurare a structurii geologice pe cale geofizică, pentru a evalua șansele de existență a acestora. În acest sens, magnetometria și gravimetria au adus contribuții deosebit de importante în țara noastră, în toate regiunile constituite din vulcanite neogene (Botezatu et al., 1974, Botezatu, 1976); de curînd, la acestea s-a adăugat și teledetecția. În fig. X.45 este reprodus, după *Zegheru* și *Albotă* (1979), rezultatul unei interpretări geologice a informațiilor de teledetecție pentru zona vulcanitelor neogene din partea vestică a Munților Gutîi, din care reese natura informațiilor geologice obținute pe această cale.

Prospectarea geofizică a mineralizațiilor din grupa metalelor neferoase se realizează, în majoritatea cazurilor, prin diferite procedee electrometrice. Aplicarea gravimetriei, magnetometriei, seismometriei sau radiometriei este limitată, fiind posibilă numai la acele mineralizații care, fie ocupă volume importante în subsol, fie — prin genezelor — cuprind și minerale care au proprietăți magnetice sau radioactive, ori se găsesc în situații specifice particular de favorabile.

Prospecțiunile geoelectrice prin metoda potențialului natural efectuate în bazinul Văii Vaser, între Novicior și Novăț, au pus în evidență o serie de anomalii de

minim a acestei mărimi, plasate pe formațiunile cristalofiliene epimetamorfice dintre eruptivul nou și formațiunile sedimentare de vîrstă eocenă din vest, care au fost interpretate ca efecte ale mineralizațiilor de sulfuri complexe (Mihail, 1976). Această interpretare a fost confirmată inițial prin lucrări miniere de suprafață și apoi prin lucrări subterane. Au fost astfel puse în evidență lentile de pirită și calcopirită, cu galenă și blendă, cu caracter masiv, avînd grosimi de pînă la 10 m și cu zone de impregnație adiacente, așa încît întreaga mineralizație, atinge grosimea de cca 40 m. Informația electrometrică a reușit, în această zonă, să pună în evidență continuitatea mineralizației de interes economic din Valea Bradului, către sud, pînă în Valea Novăț și să precizeze deci șările compartimentelor purtătoare de mineralizație.

Fig. X.46. Anomalia potențialului natural în zona Novicior (P. Bradului) din Carpații Orientali (detaliu după Cr. Mihail, 1976).

În fig. X.46 este reprodusă imaginea anomaliei din lungul Pîrîului Bradului, afluent al Văii Novicilor, din care reese că mineralizația de sulfuri complexe în acest caz produce efecte intense de potențial natural, care depășesc — 280 mV.

O situație destul de complicată o prezintă mineralizația de pirită cupriferă de la Altîn-Tepe, Dobrogea. Zăcămîntul de la Altîn-Tepe face obiectul exploatării de multe decenii, iar primele prospecțiuni geofizice în vederea descoperirii de mineralizații în extinderea lui datează din anul 1926; practic însă, clarificarea perspectivelor în acest sens aparține ultimului deceniu, cînd gradul de rezoluție mai ridicat al aparaturii și tehnicilor de lucru recente au permis aceasta.

Mineralizația de metale neferoase exploatată la Altîn-Tepe se prezintă sub formă de corpuri lenticulare și zone de impregnație, fiind găzduită de formațiunile cristaline mezometamorfice reprezentînd fundamentul regiunii care este acoperit transgresiv de șisturi verzi. Corpurile de minereu sînt concordante cu șistozitatea formațiunilor metamorfice și prezintă grosimi de ordinul metrilor pînă la zeci de metri, fiind înconjurate la periferia lor de zone de impregnație. Originea mineralizației este considerată mixtă, îmbogățirea în cupru fiind a unei mineralizații sedimentogene afectată de o activitate hidrotermală ulterioară, datorită soluțiilor hidrotermale care au circulat pe contactul dintre formațiunile mezometamorfice și șisturile verzi.

Prospecțiunile electrometrice efectuate prin metoda polarizației induse (Mihail și Simionescu, 1972) au pus în evidență, pe direcția nord vest-sud est, prin zăcămîntul cunoscut și în extinderea lui spre nord vest și spre sud est, un aliniament de minime ale rezistivității aparente ρ_a, așa cum se poate vedea în fig. X.47. Zonele conductoare cu șanse de existență a mineralizației — se prezintă ca minime cu valori de 600—800 Ωm, față de un nivel de fond al rezistivităților produs de rocile sterile care are valori de 1 000—2 000 Ωm. Cu unele decalaje, minimele rezistivimetrice sînt dublate de anomalii ale polarizabilității aparente η_a, cu caracter de maxim, avînd intensități de 7—8% față de un fond de 1—2%. Imaginea informației obținută prin polarizația indusă este

Fig. X.47. Imaginea anomaliilor rezistivității aparente ρ_a în zona Altîn-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

Fig. X.48. Imaginea anomaliilor polarizabilității aparente η_a în zona Altîn-Tepe (după Cr. Mihail și M. Simionescu, 1972).

reprodusă în fig. X.48. Corelația minim ρ_a — maxim η_a pledează pentru existența unor mineralizații disperse de sulfuri complexe care pot evolua spre lentile de minerau compact, ceea ce a fost confirmat de o serie de foraje executate în apex-ul principalelor anomalii electrometrice.

Un caz de asemenea interesant în care informația geofizică a adus o contribuție notabilă la orientarea lucrărilor de explorare, îl prezintă acela al mineralizației de

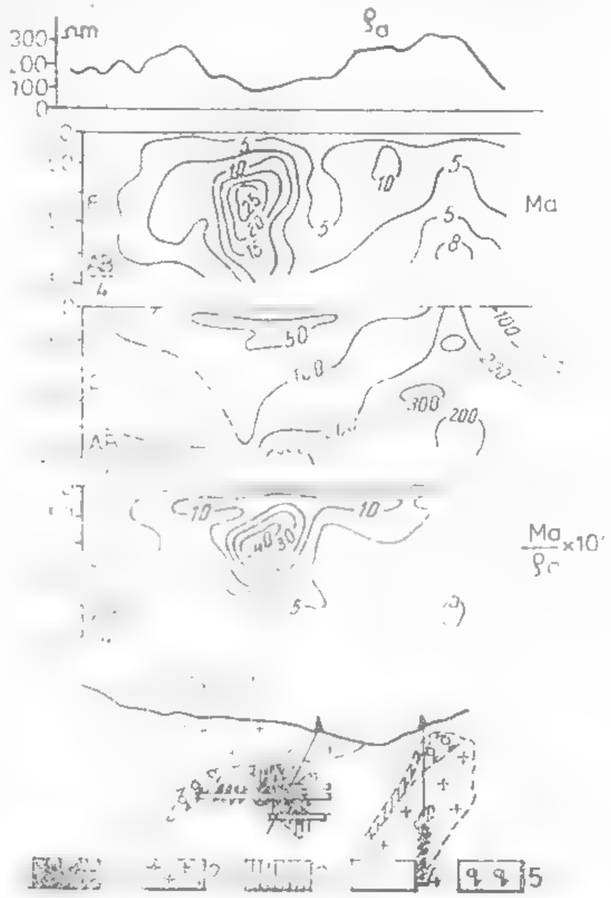


Fig. X.49. Informații geoelectrice și secțiunea geologică în sectorul Florimunda

[illegible] 1 [illegible] 2 [illegible] 3 [illegible] 4 [illegible] 5 [illegible] (după V. Vădea și I. Stoica, 1968 — preluat de la R. Botezatu et al., 1976).

pirită și calcopirită din zona Sasca—Moldova Nouă din Banat. Aceste mineralizații sînt legate genetic de corpurile de granodiorite banatitice puse în loc în lungul liniei de încălecare a cristalinului de Locva peste umplutura sedimentară, mezozoică, a sinclinalului Reșița-Moldova Veche. Acumulările cele mai importante de sulfuri cuprifere sînt cantonate în skarnele de la contactul dintre banatite și rocile carbonatice mezozoice și apar sub formă de impregnații sau mineralizații masive, imbrăcînd caracterul unor corpuri cu aspect neregulat; mineralizații disperse — unele de interes economic — se găsesc și în masa banatitelor și a calcarelor cristalino din zecimătatea corpurilor de magmatite. Astfel de zone mineralizate sînt cunoscute acum la Florimunda, Suvarov, Varad, Valea Mare, Ogașul Băesilor, Cărbunari, Stînăpari și altele.

Pentru exemplificarea naturii și conținutului geologic al informației electrometrice în cazul acestui tip de mineralizații, în fig. X.49 sînt prezentate rezultatele obți-

nute în sectorul Florimunda. După cum se poate remarca, principalul corp de minereu situat în skarnele din culcușul corpului banatitic de la vest, constituit din mineralizație cu caracter masiv, produce la suprafață un minim al rezistivității aparente ρ_a de circa 70 Ωm, față de o valoare de fond de ordinul a 250 Ωm. Secțiunile geoelectrice — construite pe baza sondajelor electrice verticale de polarizație indusă în domeniul timp — localizează în adîncime cu o precizie remarcabilă, prin raportarea valorilor parametrilor la AB/4, corpul de minereu. Acesta se reflectă în secțiunea geoelectrică prin maxime ale factorului de încărcare M_a și al raportului M_a/ρ_a (echivalent factorului metalic din domeniul frecvență) și printr-un minim al rezistivității aparente ρ_a. Anomalii de același sens, dar cu intensități mult mai reduse, marchează intervalele de mineralizație diseminată interceptate în forajul care traversează cel de-al doilea corp de banatit, situat la est de primul, de un interes economic secundar (Botezatu et al., 1976).

În ultimele două decenii, nevoile de metale neferoase ale omenirii au crescut cu un ritm foarte alert, ceea ce a făcut ca interesul să se deplaseze către zăcămintele cu conținut scăzut în metal. Acestea reprezintă de fapt roci comune avînd în masa lor o cantitate de ordinul 0,2—0,5% de minerale de metale neferoase, disperse, dar care exploatabile în carieră — în condiții de tehnică minieră foarte avansată și cu excavarea unei mase miniere de ordinul a cîteva zeci de milioane de tone anual — permit extracția unor cantități mari de metal la parametri tehnico-economici avantajoși. Un astfel de zăcămînt în țara noastră îl reprezintă cel de la Roșia Poieni din Apusenii de sud. Zăcămîntul este reprezentat de un corp subvulcanic constituit din andezit porfiric de tip Barza, silicifiat, slab argilizat și mineralizat îndeosebi cu pirită, calcopirită și oxizi de fier. Prospectarea geofizică a acestui corp în vederea conturării lui și a delimitării zonelor de îmbogățire a mineralizației a demonstrat că în acest caz informația magnetică este mai eficientă decît cea electrometrică, datorită caracterului precumpănitor hidrotermal al mineralizației și asocierii calcopiritei cu magnetitul de aceeași generație (Botezatu, 1977).

Prospectarea geofizică a zăcămintelor de bauxită din țara noastră, avînd în vedere caracterul lor de acumulări reziduale în reliefurile negative ale unui fundament de calcare precretacice carstificate, pune acesteia probleme dificile și de natură diferită.

În Munții Pădurea Craiului (sectoarele Cornetu, Lunca Sprie, Zece Hotare etc.) acumulările au forma unor lentile mici și sînt acoperite fie de o pătură subțire de sol și argile bauxitifere, fie de o pătură mai groasă de calcare neocomiene care poate depăși 100 m grosime. Cînd cuvertura superficială este mai subțire, prospectarea acestora este posibilă pe baza informației magnetice, electrometrice și radiometrice, în unele cazuri chiar și a celei gravimetrice (Gavăt et al., 1973). Dacă însă cuvertura se îngroașă mult, atingînd grosimi de mulți metri sau chiar cîteva zeci de metri și este constituită din calcare neocomiene (care nu se diferențiază prin nici o proprietate fizică față de cele tithonice), atunci singura informație geofizică valabilă pentru detectarea acestora rămîne cea electrometrică prin metoda polarizației induse. Polarizabilitatea acumulărilor de bauxită este datorată efectului de membrană, ca urmare a unui conținut în argilă destul de ridicat, așa cum a fost arătat de *Tournier* și *Vâjdea* (1969). În fig. X.50 este reprodus după acești autori un exemplu din sectorul Cornetu.

În zona Ohaba Ponor din Munții Hațegului (sectoarele Murgoi, Fizești etc.), lentilele de bauxită silicioasă și de argilă bauxitiferă sînt situate în paleoreliefurile unor calcare urgoniene. Diferența dintre acestea și cele din Pădurea Craiului provine pe de o parte de la dimensiunile lor care sînt în general mult mai mari și, pe de altă parte, de la cuvertura de vîrstă apțian-cenomaniană reprezentată în general prin gresii și subordonat argile. Această situație geologică a impus ca cea mai eficientă metodă de

prospectare geofizică să fie în acest caz seismometria de refracție folosind unde elastice de înaltă frecvență. Studiul condițiilor seismogologice, privind caracteristicile dinamice, coeficienții de absorbție și viteza undelor elastice a arătat diferențieri ale undelor frontale care alunecă pe suprafața gresiilor brune cenomaniene, a bauxitei și a fundamentului de calcare urgoniene (Spânoche et al., 1972), ceea ce a permis separarea lor în destul de mare ușurință. În fig. X.51 este reprodusă imaginea suprafeței calcarelor

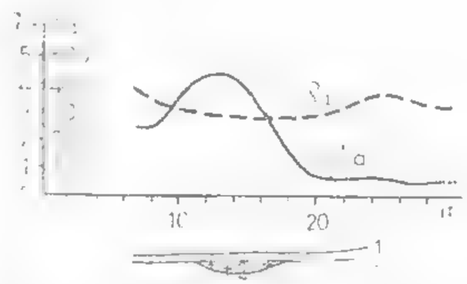


Fig. X.50. Informații geoelectrice deasupra unei lentile de bauxită din sectorul Cornetu:

1 — calcare neocomiene; *2* — bauxită; *3* — calcare tithonice (după D. Tournier și V. Vâjdea, 1969).

Fig. X.51. Modelul structural al suprafeței calcarelor tithonice obținut prin seismometria de refracție, într-un sector din zona Ohaba-Ponor

1 — izobată (în valoare absolută); *2* — locație de foraj; *3* — limită de zonă depresionară favorabilă acumulării bauxitei (după S. Spânoche, 1973 — preluat de la I. Vasiliu și A. Solomon, 1975).

urgoniene, care se diferențiază prin viteză de propagare a undelor elastice de 4 000 - 5 000 m/s față de 2 200—2 500 m/s a cuverturii de gresii și argile, din care reiese existența unor zone depresionare, probabil paleovăi, în care, ulterior, lucrările de exploatare au pus în evidență prezența unor lentile de bauxită de 2—5 m grosime (Vasiliu și Solomon, 1975).

Cercetările geofizice în subteran sînt, de asemenea, de un deosebit interes pentru creșterea eficienței lucrărilor de explorare și exploatare a zăcămintelor de metale neferoase. Pentru exemplificare s-a ales cazul mineralizațiilor de la Băița-molibden din Munții Bihorului. Metoda folosită a fost electrometria pe baza polarizației induse. Mineralizațiile de sulfuri complexe legate de skarnificarea calcarelor ca urmare a punerii în loc a magmatitelor granodioritice, exploatate aproape integral în zonele de suprafață, nu se manifestă în prospecțiunea electrometrică așa cum se poate remarca pe curba factorului de încărcare M înscrisă în partea de sus a fig. X.52. În schimb, măsurătorile efectuate la orizonturile VI și X au pus în evidență anomalii intense și bine conturate ale acestui parametru, produse atît de corpurile de minereu cunoscute

(Sturzu, Antoniu, Baia Roșie, Maria), cît și de altele eventuale situate sub orizontul X. Verificarea acestor anomalii prin foraje GP și executarea galeriei de la orizontul XIII a condus la identificarea unor alte mineralizații, precum și la modificarea întregii ima

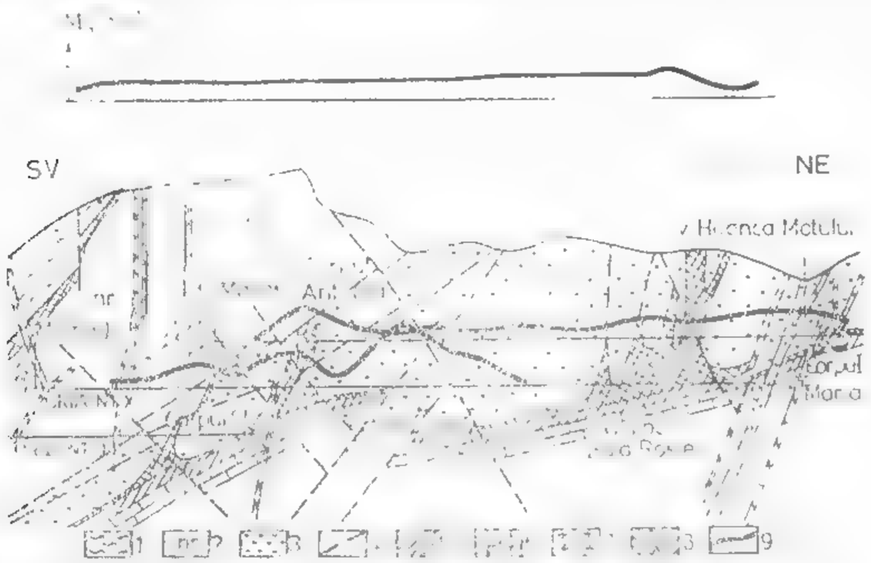


Fig. X.52. Informația electrometrică la suprafață și în două orizonturi din Mina Băița-molibden (după V. Vâjdea și A. Apostol, 1972 - preluat de la R. Potezatu et al., 1976)

1 - Permian (gipsite, [illegible], cuarțite, grei, parțial skarnificate și cornificate), *2* — Norian (calcare recristalizate masive și intercalații detritice parțial cornificate și skarnificate); *3* — Carnian (dolomite cenușii și rozacee recristalizate); *4* — falie; *5* — Carnian (intercalații detritice partialcornificate și skarnificate); *6* — Baremian (calcare albe, marne); *7* — dykuri diabaz-porfiritice; *8* — skarne mineralizate cu sulfuri polimetalice

gini structurale, așa cum este prezentată în secțiunea geologică din partea inferioară a aceleiași figuri (Potezatu et al., 1976).

2.3.3. MINERALIZAȚII AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile auro-argentifere din țara noastră sînt de afiliație magmatică, legate de procesele de autometamorfism hidrotermal ale produselor vulcanismului neogen și sînt localizate în aceleași tipuri de structuri ca și cele de metale neferoase. Mai mult decît atît, mineralizațiile polimetalice neferoase prezintă adeseori conținuturi reduse — de sub 1 g Au/t și cîteva g Ag/t — care nu se recuperează direct ci în procesele metalurgice de rafinare pentru Cu, Zn sau Pb.

Un alt element care condiționează aplicabilitatea metodelor geofizice este conținutul redus al acestor elemente în mineralizațiile exploatabile din punct de vedere economic, care sînt de cîteva g Au/t și cîteva zeci de g Ag/t, fapt care nu este în natură să realizeze contraste de proprietăți fizice mari în valoare în raport cu rocile care le găzduiesc.

Datorită acestor situații specifice, prospectarea geofizică a mineralizațiilor auro-argentifere se face în mod asemănător ca pentru cele de metale neferoase, în care rolul acompanitor îl au procedeele metodei electrometrice și numai cu totul subordonat cele magnetometrică, gravimetrică sau radiometrică, acestea din urmă numai pentru stabilirea unor factori tectono-magmatici care controlează astfel de mineralizații.

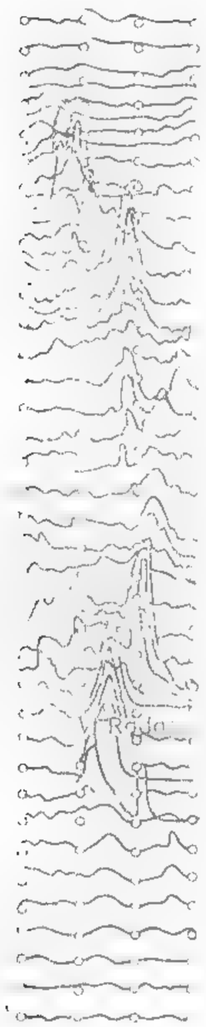
Din punctul de vedere al posibilităților de prospectare geofizică, mineralizațiile de această grupă prezente în țara noastră se împart în două categorii principale.

O primă categorie o reprezintă filoanele, volburile și stockurile legate genetic de zonele de caolinizare a vulcanitelor neogene. În astfel de situații electrometria pe baza potențialului natural, a rezistivității aparente sau a polarizației induse — după caz — poate conduce la informații concludente. În fig. X.53 este prezentată harta anomaliei potențialului natural produsă de un stock de pirită auriferă din zona Baia de Arieș în Apusenii de sud, din care reiese că mineralizația se regăsește într-o anomalie de minim bine conturată, de intensitate mică de numai −40 mV, care [illegible] secțiunea orizontală a stockului așa cum este cunoscută în [illegible] din lucrările miniere (Gavăt et al., 1973). Anomalia a fost controlată și prin metoda rezistivității aparente în varianta sondajului electric vertical, pe secțiunile geoelectrice prezența stock-ului aurifer în adîncime reflectîndu-se prin existența unor zone conductoare. Rezultate asemănătoare s-au obținut și în alte zone din Munții Apuseni și Gutîii.

Fig. X.53. Imaginea anomaliei potențialului natural deasupra unui stock de pirită auriferă din Apusenii de sud (după Fl. Scurtu 1961 — preluat de la I. Gavăt et al., 1973).

Cea de-a doua categorie este reprezentată de existența mineralizațiilor auro-argentifere legate genetic de zonele de silicifiere și, îndeosebi, cele de tipul filoanelor de cuarț aurifer. În acest caz, datorită conductibilității electrice foarte scăzută în valoare a cuarțului, prezența unor astfel de filoane poate fi foarte clar pusă în evidență îndeosebi prin metoda rezistivităților.

Un exemplu concludent în acest sens îl reprezintă rezultatele obținute în zona Batarci din Munții Oașului (Mihail și Nicolau, 1970). În fig. X.54 este reprodusă o porțiune din imaginea variației rezistivității aparente obținută prin profilare electrică pe care se individualizează clar un ax de maxim rezistivimetric atingînd valori de 1 000 Ωm față de un nivel de fond de numai 50—100 Ωm, corespunzător unui filon de cuarț aurifer cu direcția aproximativ nord-sud plasat în vecinătatea Vîrfului Rădăcinu. Pentru precizarea zonelor anomale de rezistivitate din partea sudică a acestui sector și a urmăririi evoluției acestora în adîncime, a fost executată o secțiune geoelectrică prin sondaje electrice verticale, reprodusă în fig. X.55. Pe această secțiune apare evidentă existența a două zone rezistive, cu orientare verticală, produse probabil de două astfel de filoane; în partea superioară a aceleiași figuri sînt reproduse și anomaliile la suprafață a rezistivității aparente, potențialului natural și polarizabilității aparente care prezintă o remarcabilă corespondență între ele, reflectînd pe lîngă efectul celor două filoane de cuarț aurifer și pe acela al impregnațiilor de pirită, îndeosebi cele din vecinătatea suprafeței. Rezultatele geofizice obținute în acest sector au servit la orientarea lucrărilor de explorare prin galeriile de coastă de la Rădăcini și de la Bătărcel.



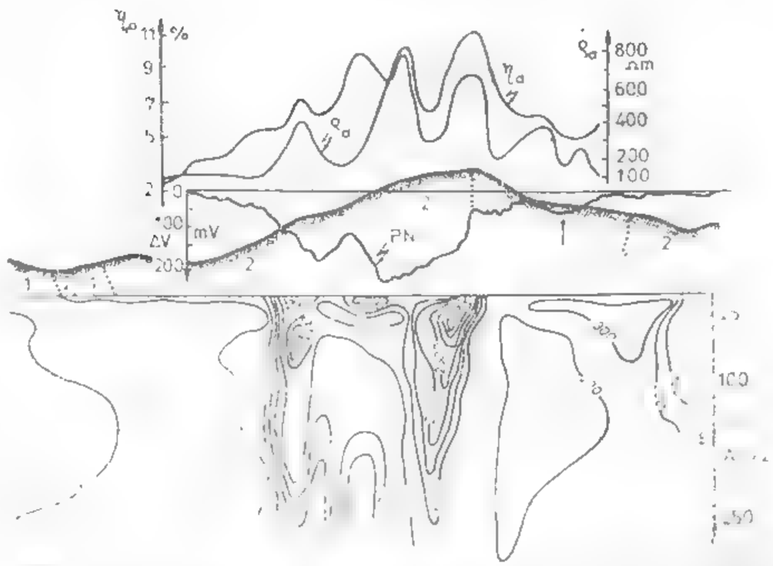


Fig. X.55. Secțiune geoelectrică de rezistivitate aparentă și variațiile la suprafață ale potențialului natural PN, rezistivității aparente ρ_a și a polarizabilității aparente η_a, în sectorul Vf. Rădăcinii, zona Batarci (după Cr. Mihail și S. Nicolau, 1970).

Fig. X.54. Variația rezistivității aparente pe profile paralele în sectorul Vf. Rădăcinii, zona Batarci, de-a lungul unui filon de cuarț aurifer (după Cr. Mihail și S. Nicolau, 1970).

2.3.4. MINERALIZAȚII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ȘI DISPERSE

În această grupă intră în primul rînd mineralizațiile de uraniu, thoriu, tantal niobiu, beriliu, zircon și litiu.

Prospectarea mineralizațiilor de metale radioactive se realizează cu ajutorul metodei radiometrice în variantele aero dar, mai ales, la sol cu caracter de mare detaliu. Uraniul este strîns asociat cu roci granitice și granodioritice în zăcăminte de tip hidrotermal, însă — datorită marii mobilități a lui — se mai concentrează și pe suport organic în roci metamorfice care conțin serii de șisturi grafitoase, cărbunoase și altele pentru care acest element chimic are afinitate.

Din cauza ecranării puternice a cîmpului de radiații γ, prospectarea mineralizațiilor uranifere este limitată la acumulările care se găsesc la adîncimi mici față de suprafață. Datorită acestei situații pentru identificarea acestora se procedează de obicei în două etape și anume

localizarea și studierea aureolelor de dispersie, primară sau secundară, în uvertura superficială sau zona de alterare de la suprafață

Fig. X.56. Imaginea anomaliei radiometrice exprimată prin valorile maxime ale cîmpului de radiații γ în găuri de 6 m adîncime (după N. Cîrstoiu et al., 1973 — preluat de la R. Botezatu et al., 1973).

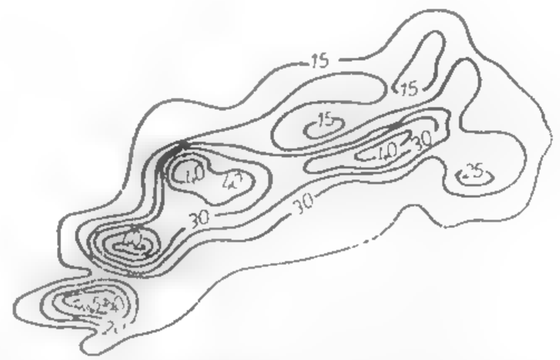


Fig. X.57. Imaginea anomaliei radiometrice la suprafață într-o zonă din masivul de roci alcaline de la Ditrău, produsă de un filon de sulfuri complexe cu conținut de monazit (după E. Gohn, 1968 — preluat de la I. Gavăt et al., 1973)

efectuarea de măsurători sau microcarotaje radiometrice în găuri forate cu adîncimi, după caz, de cîțiva metri pînă la cîteva zeci de metri, amplasate în un ga[illegible] pe aria aureolei de dispersie.

În fig. X.56 este prezentat un exemplu de anomalie radiometrică produsă de o [illegible]actura mineralizată cu uraniu, situată în formațiuni metamorfice, staționată în găuri [illegible] după prealabilă informație privind existența unei aureole de dispersie în zona [illegible]lație și de argilizare corespunzătoare de la suprafață (Botezatu et al., 1976).

Acumulările de metale rare și disperse sînt, în general, asociate cu minerale de [illegible] thoriu, ceea ce le conferă o radioactivitate ridicată și face posibilă prospecțiunea [illegible] radiometrie; prezența uneori a magnetitului, hematitului, piritei și me[illegible] le asigură și proprietăți magnetice mai intense, ceea ce le permite să se [illegible] și în anomalii magnetice.

În fig. X.57 este prezentat cazul anomaliei radiometrice determinată la suprafața solului și produsă de un filon constituit din sulfuri complexe, monazit și minerale de pămînturi rare, situat în zona Jolotca din masivul de roci alcaline de la Ditrău, [illegible] Orientali (Gavăt et al., 1973).

X.3.5. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

În prezent există peste 60 de substanțe nemetalifere care interesează ca materie primă pentru diferite ramuri ale industriei sau ca materiale necesare în anumite procese tehnologice ale industriei, pentru care sînt puse la punct tehnologiile de exploatare și de înnobilare ale acestora. Cu excepția diamantelor industriale, în țara noastră se găsesc substanțe din această categorie sau există condițiile potențiale geologice pentru cantități mai mari sau mai mici, cu calități mai bune sau mai puțin bune pentru aproape întreaga gamă sortimentală cerută de industrie. Dintre acestea [illegible] amintim ca mai importante: grafit, rocă cu sulf, gips, celestină, baritină, wolfram, wolastonit, pegmatit cu mică, talc, azbest, feldspat, cuarț, perlit, calcar pentru siderurgie [illegible] dolomită, argile refractare, caolin, nisipuri silicioase, bentonită, diatomită [illegible]. La acestea se adaugă rocile utile pentru construcții, ca: balast și agregate pentru beton, granite și alte roci magmatice pentru piatră spartă, cribluri, piatră lustruită etc., roci ornamentale pentru placări exterioare sau interioare (marmură, travertin, roci eruptive cu diferite colorații) și încă multe altele.

Problema prospectării geofizice a acumulărilor unor astfel de substanțe are desigur și limitări fizice dar, în primul rînd, de natură economică, deoarece ele trebuie să fie aduse în circuitul economic la un preț de revenire în general mic. Un astfel de preț de cost nu poate fi asigurat decît printr-o exploatare de preferință în carieră și o conturare a rezervelor pe căi cît mai puțin costisitoare; or, metodele geofizice sînt mai scumpe decît observațiile geologice directe și efectuarea de lucrări miniere ușoare (dezveliri, șanțuri, puțuri și foraje de mică adîncime, galerii de coastă scurte) prin care se poate asigura conturarea volumelor și stabilirea calității substanțelor respective.

Există totuși unele substanțe, de valoare mai mare, pentru care metodele geofizice devin necesare și este justificată aplicarea lor. În cele ce urmează vom prezenta trei exemple din care reiese natura problemelor din această categorie și soluțiile cercetării geofizice românești pentru rezolvarea lor.

În țara noastră, grafit exploatabil pentru concentrate de mare puritate (peste 90—95% carbon), grafit coloidal, suspensie de grafit etc., se găsește în Munții Căpățînii, la izvoarele Oltețului, găzduit de șisturile grafitoase din complexul de metamorfite constituit din granite gnaisice în care sînt prinse acestea împreună cu amfibolite, șisturi cloritoase și filite. Complexele grafitoase se prezintă sub formă de benzi paralele afectate de decrosări și lentilizări pe direcția de dezvoltare a lor. Dintre metodele geofizice, ca cea mai eficientă pentru conturarea lentilelor de rocă cu grafit s-a impus electrometria în varianta potențialului natural. În fig. X.58 este reprodusă informația obținută pe această cale într-un sector din această zonă, din care reiese reflectarea prin minime intense ale potențialului natural a lentilelor de rocă cu grafit al căror contur — stabilit după verificarea cu lucrări miniere — este marcat prin linie punctată (Cavăt et al., 1973).

Baritina este o altă substanță nemetaliferă de mare interes, îndeosebi ca material greutător al noroaielor pentru forajele adînci. Baritină apare frecvent în ganga mineralizațiilor de sulfuri polimetalice și auro-argentifere, însă zăcămintele mai importante sînt cele în care acest mineral s-a format prin substituție în masa unor depozite de calcare sau dolomite. Un astfel de zăcămînt este cel de la Dealul Cortelu din zona Somova, în Dobrogea de nord, genetic legat de procesele de substituție metasomatică a calcarelor triasice sub influența unui corp de porfire cuarțifere pus în loc în cuprinsul acestora.

Această zonă a fost prospectată magnetic, electrometric și gravimetric, obținînd [illegible] informații provenite fie de la corpul de magmatite, fie de la mineralizațiile diseminate de sulfuri complexe, fie — în sfîrșit — de la însăși corpul de baritină. Avînd o densitate mare (3,65 g/cm³), mineralizația masivă de baritină realizează un contrast mare de densitate, de ordinul + 1,00 g/cm³, față de calcarele și de porfirele între care

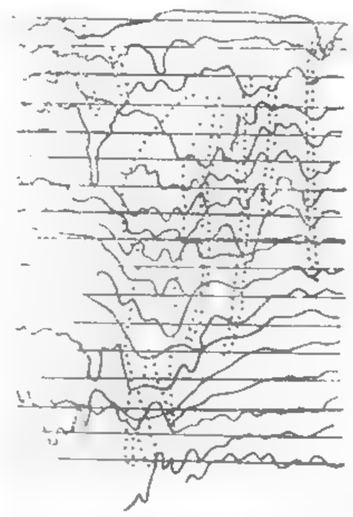


Fig. X.58. Imaginea variației potențialului natural [illegible] zonă mineralizată cu [illegible] de la izvoarele Oltețului (după I. Stoica și M. Stoica, 1965 — preluat de [illegible] Cavăt et al., 1973).

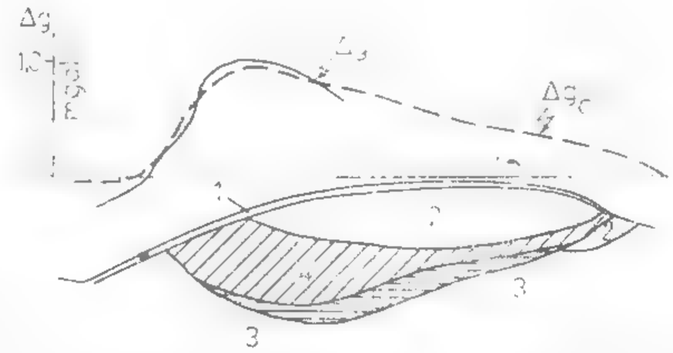


Fig. X. 59. Modelul geofizic de simulare de-a lungul unui profil E—V al corpului de baritină de la Dealul Cortelu, determinat pe baza datelor geologice și a informației gravimetrice

Δg_L — anomalia gravimetrică locală; Δg_c — efectul gravimetric al modelului; 1 — loess; 2 — calcare triasice; 3 — porfire cuarțifere; [illegible] — corp de impregnație cu sulfuri polimetalice (după M. Visarion et al., 1974)

este incorporat. Acest fapt a asigurat informației gravimetrice condiții foarte bune de a se concretiza într-o anomalie de maxim care depășește 1 mgal. În fig. X.59 este redat un model al corpului de baritină construit pe baza informației gravimetrice și a datelor geologice, controlul modelului obținut fiind realizat prin efectul gravitațional Δg_c pe care îl produce și care, așa cum lesne se poate constata, prezintă o bună corespondență cu anomalia gravimetrică locală Δg_L, pe porțiunea pe care aceasta a fost urmărită (Visarion et al., 1974).

Mica sub formă de plăci, fulgi sau micronizată este, de asemenea, o substanță necesară industriei. Rezultate foarte interesante în cercetarea pegmatitelor micafere din regiunea Voineasa-Lotru în extinderea corpurilor cunoscute au fost obținute de către *Iordache* (1966) prin electrometrie în varianta potențialului natural. Corpurile de pegmatite micafere din această zonă se prezintă ca interstratificații în micasisturile și gnaisele seriei cristaline de Lotru și apar ca lentile, stock-uri și culburi, avînd forme și mărimi foarte variate. Muscovitul este în conținut de circa 12% și are dimensiuni de 20—150 mm în suprafață și grosimi pînă la 40 mm, procesele de alterare datorate circulației apelor generînd electropotențiale naturale care ating —150 mV, față de valori de fond ale rocilor sterile de +5 pînă la +50 mV.

În fig. X.60 este reprodus un profil al potențialului natural din secto[illegible] [illegible]racte. Anomaliile de minim PN obținute au fost ulterior verificate prin șanțuri [illegible]turi și galerii care au identificat concentrații de mică. Autorul a determinat și o relaț[illegible] pe dependență între conținutul în mică, suprafața de cristalizare și valoarea potențialului natural generat, dependență care are un caracter liniar, ceea ce permite diagnos[illegible] valorii economice pe baza însăși a intensității anomaliilor PN obținute pri[illegible]

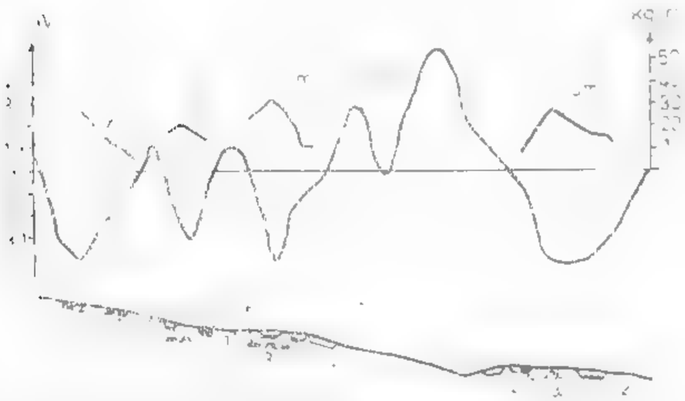


Fig. X.60. Variația potențialului electric natural PN și a conținutului în mică C_m de-a lungul unui profil în zona Voineasa-Lotru, sectorul Cataracte, în paralel cu secțiunea geologică și lucrările de explorare:

1 — micașisturi; 2 — pegmatite nemineralizate; 3 — pegmatite [illegible] fere; 4 — mineralizări de mică identificate prin lucrări m[illegible]ere (după S. Gh. Iordache, 1966).

Fig. X.61. Imaginea anomaliilor potențialului electric natural PN în zona Voineasa-Lotru, sectorul Măn. [illegible] Mare 2 (după S. Gh. [illegible]che, 1966).

prospecțiunea geofizică. Valoarea medie statistică determinată în acest caz este de 1,03 ± 0,6 kg mică/m³ rocă/mV.

În fig. X.61 este reprodusă o porțiune din harta anomaliilor potențialului natural în sectorul Mănăileasa Mare 2, în care intensitatea anomaliilor nu depășește −40 mV. În acest sector îmbogățirile în mică, așa cum au arătat lucrările miniere, se prezintă ca lentile de dimensiuni reduse, însă cu o frecvență mai mare și aliniate pe direcții preferențiale corespunzătoare celor de șistozitate a rocilor cristalofiliene, fapt bine sugerat încă de la început de către informația geofizică.

2.3.6. ZĂCĂMINTE DE CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

Prospectarea geofizică a stratelor de cărbuni sau de alte roci combustibile, ca de exemplu șisturile grafitoase sau cărbunoase și, eventual, a unor tipuri de șisturi bituminoase cu conținut mai ridicat în materie organică, pune probleme deosebite de grele.

O informație indirectă asupra prezenței unor astfel de substanțe în subsol este deocamdată imposibilă, cel puțin în țara noastră, deși ele se diferențiază față de rocile terigene care le conțin prin contraste mari de densitate, de rezistivitate electrică specifică și de impedanță acustică sau de coeficient de reflexie, producînd în situații fav[illegible]

[illegible]abile și electropotențiale naturale. Această limitare a aplicabilității metodelor geofizice provine din două caracteristici ale stratelor de astfel de substanțe și anume:

— grosime mică, de la unul la cîțiva metri;

— caracter concordant cu al stratelor terigene în care s-au format, suportînd [illegible] cu ele o evoluție tectonică care a condus la forme structurale comune.

Stratele de lignit inferior din Oltenia, orizontale sau slab înclinate, care interesează din punct de vedere economic, exploatabile de preferință în carieră, nu pot fi prospectate seismometric prin refracție; ele realizează coeficienți de reflexie și, mai ales, suprafețe de reflexie bune și foarte bune, așa cum au dovedit-o prospecțiunile pentru petrol din Depresiunea Precarpatică a Munteniei la descifrarea structurii Levantinului inferior și a Dacianului, însă informația seismică de reflexie nu poate proveni decît de la adîncimi care depășesc 350—400 m, astfel încît stratele de lignit de mică adîncime nu intră în incidența posibilităților acestei metode.

Stratele de lignit superior și, mai ales, cele de huilă energetică, huilă cocsificabilă, antracit și șisturi combustibile din Banat (Anina), se găsesc asociate unor structuri geologice puternic tectonizate, în condiții de combinare a unor elemente plicative și [illegible]ctive care le conferă înclinări mari, falieri și decrosări, caracteristici care, de asemenea, devin prohibitive pentru metoda seismometrică.

Datorită acestor situații profund defavorabile, cercetarea geofizică pentru astfel de substanțe în România a fost foarte redusă și ca volum, și ca obiective, cu toate că metodele geofizice în alte părți ale lumii, dar și în alte condiții de structură geologică și de acumulări de cărbuni, au adus contribuții importante ca de exemplu cea gravimetrică la Borken în R. F. Germania, cea electrometrică în Bazinul Moscovei, U.R.S.S., cea gravimetrică la Lickey Hills-Nuneaton în sudul Angliei, cea electrometrică în Bazinele Karaganda, Lvov și Donbass din U.R.S.S. și altele (Gavăt et al., 1973).

Dar dacă metodele geofizice nu pot aduce în condițiile din țara noastră informații direct de la stratele de cărbuni, unele din ele pot aduce contribuții la descifrarea structurii bazinelor cunoscute sau posibil carbonifere, în sensul stabilirii formei și adîncimii fundamentului acestora, a variațiilor de grosime a formațiunilor din cuprinsul cuverturilor sedimentare, a localizării accidentelor tectonice majore etc. În acest sens, indicațiile interesante a adus informația gravimetrică și cea seismometrică pentru Bazinul Petroșani; de asemenea, cea seismometrică pentru Bazinele Caransebeș și Hațeg (Vasilin și Solomon, 1975) și altele.

2.3.7. ZĂCĂMINTE DE SARE ȘI SĂRURI DE POTASIU ȘI MAGNEZIU

Prospectarea geofizică a acumulărilor de sare cu sau fără săruri de potasiu și magneziu este favorizată de faptul că aceasta se diferențiază puternic prin densitate, viteză de propagare a undelor elastice și rezistivitate electrică specifică față de rocile terigene în care sînt incorporate. Dintre toate metodele geofizice, cea gravimetrică a avut și are o eficiență remarcabilă la descoperirea și conturarea acumulărilor ascunse de sare, contribuind pînă în prezent la punerea în evidență a aproape 200 de masive de sare care nu erau cunoscute în țara noastră, pentru unele acumulări de sare, și informația seismometrică a contribuit la stabilirea îndeosebi a dezvoltării lor în adîncime. O sinteză a aportului metodelor geofizice pentru această substanță a fost făcută de *Botezatu* et al. (1970)

Din multele exemple care se pot prezenta a fost ales cazul masivului de sare de la Slătioarele din Județul Argeș. Prospectarea geofizică a acestui masiv a fost efectuată în anul 1948 printr-o lucrare gravimetrică de mare detaliu, iar existența sării a fost confirmată de 22 foraje, dintre care unul central care a străbătut întreg corpul de sare, iar restul cu adîncime de numai 500 m (Botezatu, 1964).

Fig. X.62. Anomalia gravimetrică locală produsă de masivul de sare de la Slătioarele, Argeș, cu indicarea locațiilor ultimelor șase foraje de explorare (după R. Botezatu et al., 1977).

În ultimii ani s-a reluat programul de explorare prin încă 6 foraje, pentru îmbunătățirea cunoașterii formei și extinderii în adîncime a corpului, precum și pentru stabilirea calității sării, în scopul construirii în cuprinsul lui a unor depozite subterane realizate prin dizolvare. Pe baza carotajului geofizic al ultimelor șase găuri de sondă s-a putut stabili variația în lungul acestora a densității și a conținutului în material insolubil (tengen), ultimul necesar precizării intervalelor optime și [illegible] de dizolvare. Pentru alegerea poziției unor astfel de depozite [illegible] corpului de sare, cu asigurarea unor pilieri de protecție corespunzători și a [illegible] procesului de dizolvare, s-a efectuat o modelare a acestui masiv ținînd la bază informația gravimetrică, cele provenite din carotajul geofizic al găurilor de sondă, precum și rezultatele forajelor avute la dispoziție (Botezatu et al., 1977).

Anomalia gravimetrică locală produsă de acest masiv de sare este reprodusă în fig. X.62. După cum se poate remarca, această anomalie are un caracter general minim care are prezent un mic maxim central, ceea ce îi dă aspectul unui maxim

înconjurat de o aureolă de minime. Axa minimelor din jurul maximului central, marcată prin linia întreruptă, corespunde — cu excepția unei zone sud-vestice — destul de bine cu conturul corpului de sare stabilit pe baza forajelor cu adîncime de 500 m, marcat prin linia continuă situată în interiorul axei la care ne-am referit mai sus.

Prin aproximații succesive s-a obținut final un model optimizat al acestui corp de sare care ține cont de variațiile densității și ale raportului sare/material insolubil

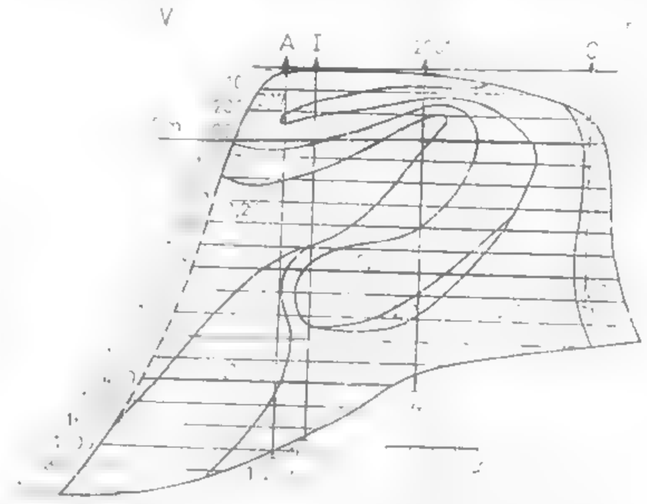


Fig. X.63. Secțiune verticală centrală pe direcția E—V prin modelul optimizat al masivului de sare de la Slătioarele, Argeș (după R. Botezatu et al., 1977).

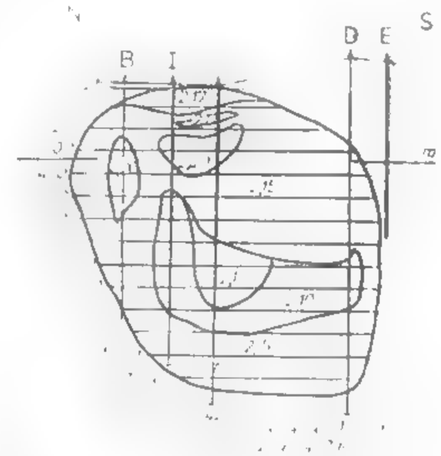


Fig. X.64. Secțiune verticală centrală pe direcția N—S prin modelul optimizat al masivului de sare de la Slătioarele, Argeș (după R. Botezatu et al., 1977).

ca și de intervalele de sare, indiferent de calitatea ei, traversate de cele 28 de foraje practicate pînă în prezent pentru conturarea lui. În figurile X.63 și 64 sînt reproduse două secțiuni prin modelul geofizic de simulare al acestui masiv de sare.

După cum se poate observa, corpul de sare de la Slătioarele, Argeș, are o formă și o structură internă foarte complicată, cu o tendință de concentrare a materialului terigen în proporție mai mare către partea lui centrală. Verificarea acestui model s-a făcut prin determinarea efectului gravimetric al lui, care a reieșit ca fiind comparabil cu anomalia stabilită prin măsurători și reprodusă în fig. 23. Modelul astfel obținut reprezintă o bază fundamentală pentru proiectarea depozitelor subterane ce se intenționează a fi realizate.

3. PROSPECȚIUNEA GEOCHIMICĂ

Prospecțiunea geochimică s-a impus ca una din metodele de cercetare geologică larg utilizate în urma succeselor deosebite obținute în evidențierea unor zăcăminte metalifere care nu aflorează și a costului redus al lucrărilor. Prospecțiunile geochimice permit sesizarea mineralizațiilor ascunse aflate la adîncimi ce pot ajunge la cîteva sute

de metri, obținerea de informații privind principalii componenți utili ai mineralizațiilor și aprecieri asupra extinderii zăcămintelor.

Principiul metodei de prospectare geochimică constă în identificarea zonelor cu conținuturi superioare, anomale, unei valori medii, specifice mediului geologic respectiv, numită *fond geochimic*. Conținuturile anomale sînt puse în legătură, de cele mai multe ori, cu existența unor mineralizații. Conturarea zonelor cu conținuturi anomale evidențiază anomaliile geochimice care, din punct de vedere genetic, pot fi

primare, formate în aceleași condiții cu mineralizațiile,

secundare, determinate de schimbarea condițiilor de stabilitate a mineralelor specifice zăcămintelor.

Extinderea aureolelor geochimice depășește cu mult aria mineralizațiilor și prin aceasta sînt ușor de identificat. Modul în care se produce dispersia elementelor poate fi chimic, biologic sau fizic.

În funcție de mediul de dispersie cercetat, prospecțiunile geochimice se pot clasifica în: litogeochimice, pedogeochimice, hidrogeochimice, atmogeochimice și biogeochimice.

După scara la care se execută lucrările de prospectare acestea se numesc *regionale* (preliminare, informative sau strategice) — la scară mică și *de detaliu* (tactice) — la scară mare.

Dozarea elementelor cercetate se face prin metode de analiză fizico-chimice (analize spectrografice, spectrometrie de absorbție atomică, activare cu neutroni, colorimetrie etc.), metode de mare productivitate, sensibilitate și precizie sporită.

Elementele analizate sînt de cele mai multe ori elementele urmă capabile să formeze zăcăminte specifice (indicatori direcți), ca de exemplu Cu, Pb, Zn, Mo etc. Elementele urmă ce însoțesc un anumit tip de mineralizații fără a forma concentrații valorificabile din punct de vedere economic (indicatori indirecți) ca de exemplu Cd, Ba, F, B sau elemente majore ce tind să se concentreze ca urmare a unor fenomene specifice formării mineralizațiilor, asa cum este cazul K, Na, Mg în adularizări, albitizări și dolomitizări.

3.1. PROSPECȚIUNEA LITOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea litogeochimică se poate executa la scară regională sau pe suprafețe restrînse, la scară mare.

Prospecțiunea litogeochimică regională urmărește stabilirea fondului geochimic al unor formațiuni specifice regiunilor luate în studiu și identificarea zonelor anomale de maxima perspectivă.

Prospecțiunea litogeochimică de detaliu are drept scop identificarea mineralizațiilor [illegible] unele indicii, precizarea tipului de mineralizație [illegible]

Prezența unor *zone cu alterații hidrotermale* este o indicație privind existența fenomenului hidrotermal și deci și a posibilității existenței unor mineralizații. În legătură cu aceste zone se pune problema dirijării cercetării prin lucrări miniere și foraje, cu maximă eficiență, pentru interceptarea eventualelor mineralizații. Cercetarea litogeochimică sistematică a rocilor din aceste zone indică, pentru numeroase elemente, o tendință de concentrare în jurul căilor de circulație a soluțiilor hidrotermale. Poziția

[illegible] anomaliilor [illegible] elementelor permit precizarea poziției zăcămîntului [illegible] a dizolvărilor determinate de [illegible].

Variațiile [illegible] ale la pozițiile ideale pot fi determinate de o [illegible] factori printre care [illegible] caracteristicile petrografice ale formațiunilor (constituția [illegible], porozitatea [illegible], omogenitatea, structura și textura) și tectonice. Identificarea [illegible] pentru asociații caracteristice de elemente poate furnizа date asupra [illegible] de zăcămînt.

Modelarea [illegible] litogeochimică se face în funcție de scopul [illegible] și de [illegible] litogeochimică regională rocile

[illegible] pe profile transversale pe structura geologică, distanțele [illegible] de [illegible] la [illegible] m. Distanțele între probe, pe fiecare profil, [illegible] 0 m, [illegible] se execută [illegible] tip petrografic în parte. În [illegible] detaliu probele sînt mai des, iar distanțele între probe pot ajunge pînă la [illegible] m. Probele mărite și foarte se prelevează la intervale de [illegible] m. [illegible] distanțe mai mari pentru zonele [illegible].

Greutatea probelor este în funcție de omogenitatea petrografică, structura și [illegible] relativ omogene și cu structuri fine, cantitatea de [illegible] (50–100 g), în timp ce pentru roci larg cristalizate și neomogene [illegible] g). Nu se recomandă colectarea de probe mari, [illegible] sesizarea sensului de variație a conținuturilor. În [illegible] de la suprafață, acestea nu trebuie să fie afectate de fenomene de alterare [illegible] deoarece conținuturile pot suferi modificări.

[illegible] pe probe globale de roci, pe concentrate [illegible] cazurile în care sînt necesare precizări privind tendințele [illegible] ale elementelor urmă în anumite faze minerale. Pentru precizarea tipului de [illegible] a elementelor urmă (chimică sau fizică) se fac determinări prin [illegible] sau pe extrase cu reactivi organici care nu afectează rețelele minerale, [illegible] numiți elementele reținute prin legături fizice.

3.2. PROSPECȚIUNEA PEDOGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea pedogeochimică este o metodă de investigație geochimică a zăcămintelor [illegible] metalifere cel mai frecvent utilizată, ca urmare a răspîndirii [illegible], a ușurinței de prelevare a probelor din sol, a costului relativ redus al [illegible] și a [illegible] rezultate foarte semnificative.

Principiul metodei constă în *identificarea aureolelor geochimice secundare* a unu mite nivele din sol.

În prospecțiunea pedogeochimică regională se urmărește determinarea fondului geochimic al zonei luate în studiu, identificarea unor eventuale anomalii și, în unele zone cum sînt cele caracterizate prin soluri groase lipsite de aflorimente, delimitarea cartografică a unor formațiuni din subsol caracterizate prin contrast geochimic (amfibolite-cuarțite, peridotite-granite etc.).

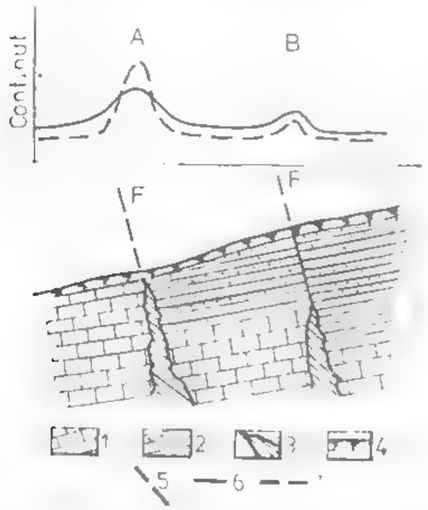


Fig. X.66. Anomalii pedogeochimice pe sol rezidual (*A*) și anomalii de „scurgere" (*B*), în cazul zăcămintelor de Pb și Zn

1 — calcare; *2* — argile grezoase; *3* — corp de minerei; *4* — sol; *5* — falie; *6* — curba variației conținuturilor de Zn; *7* — curbura variației conținuturilor de Pb

Prospecțiunea pedogeochimică de detaliu urmărește delimitarea unor anomalii geochimice în regiuni unde există indicații privind existența unor mineralizații și amplasarea unor lucrări de cercetare cu maximum de eficiență.

Solurile sînt formațiuni actuale sau recente care prezintă caracteristici structurale în funcție de condițiile pedogenetice și gradul de maturizare. În cele mai multe soluri pot fi identificate trei orizonturi

— orizontul *A* constituie partea superioară a solului și se individualizează prin prezența în cantități variabile a substanțelor de natură organică alături de cele de natură minerală. Grosimea orizontului *A* este cuprinsă, în general, între 15 și 35 cm

— orizontul *B* este constituit din componenți anorganici: minerale argiloase, oxizi și hidroxizi de fier, mangan, aluminiu, siliciu, carbonați și alții. Compoziția mineralogică a acestui orizont este determinată de compoziția rocii din subsol (roca mamă), de condițiile pedogenetice și de gradul de maturizare al solului. Grosimea acestui orizont este variabilă în limite largi;

— orizontul *C* face trecerea la roca proaspătă nealterată și este constituit din componenți specifici orizontului *B*, fragmente de rocă și uneori faze minerale specifice, de trecere (metastabile) de la cele ale rocii proaspete la cele ale orizontului *B*. Grosimea acestui orizont este de asemenea variabilă.

Dispersarea elementelor în soluri se poate face pe cale *fizică*, în cazul elementelor cuprinse în mineralele rezistente la alterarea supergenă (aur nativ, cromit, cinabru etc.) sau pe cale *chimică*, în cazul elementelor cuprinse în minerale ce se alterează ușor (sulfurile sau compuși similari în cele mai multe cazuri). Reținerea elementelor dispersate se poate face pe cale chimică, ca urmare a apariției unor compuși mai puțini solu-

bili în apropierea suprafeței (carbonați, vanadați, molibdați etc.) sau pe cale fizică, prin adsorbția elementelor pe constituenții coloidali ai solului, cum sînt mineralele argiloase, oxizii și hidroxizii de fier și mangan, compușii organici și alții.

Concentrațiile elementelor urmă în soluri sînt diferite, în funcție de tipul de sol, de adîncime, de gradul de maturitate al solului, de caracteristicile geochimice ale elementelor analizate și de poziția mineralizațiilor care le-au generat față de sol.

Pozițiile anomaliilor pedogeochimice față de mineralizațiile care le-au generat se suprapune sau pot fi deplasate în funcție de caracteristicile morfologice, hidrologice, pedologice, litologice, de vegetație, de poziția corpului de minereu față de suprafața de eroziune și de proprietățile geochimice ale elementelor luate în studiu.

Prelevarea probelor în prospecțiunea pedogeochimică se face după profile orientate perpendicular pe direcția de dezvoltare a formațiunilor geologice sau a unor accidente tectonice posibil să controleze localizarea mineralizațiilor (falii, decroșări, axe de anticlinale perpendicular pe direcția de apariție a unor corpuri de origine magmatică [illegible] sau transversal pe direcția dominantă de șistozitate a formațiunilor cristalofiliene pe cît posibil perpendicular pe S_0) sau pe direcțiile de dezvoltare a zonelor ce conțin alterații hidrotermale sau fenomene pirometasomatice.

Echidistanța dintre profile se alege în funcție de tipul de mineralizație presupus și de tectonica care a afectat zona. În cazul zăcămintelor stratiforme, slab sau neafectate de fenomene rupturale, distanțele dintre profile pot fi mai mari (50 m), pentru cazul zăcămintelor cu morfologie foarte complicată, afectate de o tectonică ulterioară, echidistanța să fie mult micșorată (15—20 m). Distanțele dintre probe pe același profil sînt mult mai mici (10 m în general

Adîncimea de prelevare a probelor este constantă și ea se alege în așa fel încît să corespundă tranziției de la orizontul *A* la orizontul *B* (20—25 cm). Pentru prelevarea probei se face o gaură în sol cu ajutorul unei tije metalice, pînă la adîncimea [illegible] pentru extragerea probei, după care se introduce carotiera cu ajutorul căreia se scoate o primă probă Pentru a avea un eșantion de sol cît mai puțin contaminat, [illegible] material din părțile superioare ale găurii, fie de la proba prelevată anterior, [illegible] material scos este îndepărtat, după care se ia proba în greutate de 50 pînă la 100 g Proba se introduce în pungi de hîrtie cu pereți dubli, cel interior fiind confecționat din hîrtie pergament, sau în pungi de polietilenă. Pe pungi se notează sectorul, data prelevării probei, numărul profilului și al probei.

Analizarea probelor se execută în parte în laboratoarele de teren, pentru identificarea operativă a eventualelor zone anomale și în laboratoare centrale, în totalitate. Analizarea probelor pe teren se face prin metode ce necesită o aparatură simplă (colorimetrie), iar în laborator prin metode de mare sensibilitate și productivitate (spectrografie de emisie, spectrometrie de absorbție atomică). În prealabil, probele sînt uscate și omogenizate, iar în funcție de metoda de analiză folosită și de scopul urmărit ele fi analizate direct (dozări globale în spectrografia de emisie) sau după o dezagregare chimică, cu dozarea conținutului total al unor elemente (în spectrometria de absorbție atomică) sau prin solubilizarea elementelor reținute prin legături fizice (absorbite) și dozarea lor.

Rezultatele obținute în urma analizelor sînt trecute pe harta zonei cercetate, în [illegible] punctelor de prelevare a probelor. Trasarea anomaliilor se face după prelucrarea matematică a datelor analitice, prin care se evidențiază pragul geochimic. Alegerea [illegible]rilor de verificare a anomaliilor descoperite, șanțuri, puțuri sau galerii) și [illegible] se face după interpretarea geochimică a hărții, ținînd seama de cît [illegible] care pot conduce la apariția anomaliei și la poziția ei.

3.3. PROSPECȚIUNEA HIDROGEOCHIMICĂ

Prospecțiunea hidrogeochimică este la[illegible] rezultatelor pentru care sînt premize privind existența zăcămintelor d[illegible] Scopul metodei constă în *identificarea conținuturilor* [illegible] *de zăcămintele* [illegible].

Apele subterane sau de suprafață ce vin în contact cu mineralele spe[illegible] mintelor pot solubiliza o parte din elementele constitutive, generînd aureol[illegible] se secundară. Elementele dispersate în ape se pot prezent[illegible] [illegible] ca urmare a apariției în condiții de oxidare a unor săruri [illegible] ciaza puternic (sulfați, halogenuri), fie sub formă de componenți ai solu[illegible]. Coloizii pot apare ca rezultat al unei fragmentări [illegible] origine mecanică) sau în urma unor reacții chimice, așa cum este cazul h[illegible] fier și mangan, mineralelor argiloase, unor compuși organici care pot adso[illegible] din anioni sau cationi din apele subterane sau de suprat[illegible] metale specifice zăcămintelor de minereuri sînt, de asemenea, prezente mai al[illegible] de suprafață.

Solubilizarea elementelor din zăcăminte, extinderea și inte[illegible] hidrogeochimice depind de caracteristicile [illegible] de compoziția mineralogică, de structura și textura minere[illegible] serie de factori de mediu, cum ar fi: compoziția apelor, can[illegible] organic sau anorganic prezent în apă, clima, unghiul de pantă, natura [illegible] circulă apa, debitul etc.

Prospecțiunea hidrogeochimică se execută în special pe ape de sup[illegible] mai rar pe ape subterane.

Prospecțiunea hidrogeochimică pe ape subterane se realizează pr[illegible] probelor de ape din fîntîni, foraje și lucrări miniere.

Prospecțiunea hidrogeochimică pe ape de suprafață este mult mai fr[illegible] lizată, ca urmare a ușurinței prelevării probelor și a interpretării [illegible] obținute.

Apariția anomaliilor hidrogeochimice în apele de suprafață poate fi [illegible] al unei spălări directe a unor mineralizații cît și al unui aport [illegible] care provin din pînze freatice ce vin în contact cu mineralizațiile.

Anomaliile hidrogeochimice în apele de suprafață sînt situate în [illegible] rile care le-au generat, iar extinderea lor este funcție de specificul geoch[illegible] mentelor luate în studiu, de forma sub care sînt dispersate elementele, d[illegible] cile petrografice ale rocilor ce constituie talvegul etc. Trebuie menționat că [illegible] conținut ridicat de material organic, cum sînt de exemplu șisturile bitumin[illegible] carbonatice, constituie bariere geochimice în aval de care conținuturile scad [illegible]

Prelevarea probelor de apă în prospecțiunea hidrogeochimică pe ape de [illegible] față se execută din aval către amonte. Distanțele dintre probe sînt cuprinse [illegible] și 40 m. La prelevarea probelor sînt evitate zonele [illegible] de confluență, marile cursuri de ape. Se recomandă luarea probelor în regim [illegible] al debitului, evitîndu-se perioadele de viituri sau secetă prelungită. Probele [illegible] telează în recipienți confecționați din sticlă sau material plastic, cu capacități de [illegible] 1 l.

Analizarea probelor se face în timpul cel mai scurt posibil de la prelev[illegible] posibil în laboratoare de teren. Analizele se execută pentru cantitatea tot[illegible] ment luat în studiu, de obicei după o acidulare puternică, sau numai pentru [illegible]

[illegible]

[illegible]

3.4. PROSPECȚIUNEA ATMOGEOCHIMICĂ

[illegible] introdusă [illegible] zăcămintelor de minereuri. Principiul metodei se bazează pe [illegible] conținuturile în mesteca sau în gazele [illegible] la nivelul solului [illegible] compuși Hg, I, Br și a unor gaze care apar în [illegible] mai ușor [illegible] atmosferei [illegible] (Rn, CO_2, CH, H_2S) și a compoziției [illegible] solele mai ușoare sau mai puțin erosive. Metoda [illegible] ca urmare a metodelor de [illegible] pentru concentrația extrem de mare.

Elementul cel mai frecvent luat în studiu la prospecțiunea zăcămintelor de mercur este mercurul. Anizele anomale pentru mercur au putut fi observate atît în [illegible] reținute la nivelul solului cît și în atmosfera cu nivel unor zăcăminte de [illegible] cu minereuri polimetalice sau cu cupru disem[illegible]. Dispersia mercurului este [illegible] de oxidarea cinabrului sau a altor sulfuri cu conținut de mercur cum este [illegible] exemplu blenda.

În atmosferă conținutul de mercur variază cu altitudinea, avînd tendința de scădere [illegible] în altitudine. În sol mercurul este probabil reținut în [illegible] mare

parte, prin fenomene de suprafață (adsorbție). Concentrația mercurului se pare că depinde, în primul rînd, de cantitatea de material organic. Astfel, la nivelul orizontului *A* conținuturile sînt totdeauna mai ridicate decît la nivelul orizontului *B*.

Anomaliile atmogeochimice pentru mercur sînt caracterizate printr-un contrast mare, fapt ce determină trasarea lor cu multă siguranță. Concentrațiile de fond pentru multe regiuni cu formațiuni eruptive este de ordinul 1 ng/m³ (1 ng = 10^{-9} g) sau mai mici, în timp ce pentru zonele anomale se depășește 10 ng/m³.

Posibilitatea vaporilor de mercur de a dispersa ușor prin formațiuni permite sesizarea unor zăcăminte de sulfuri în regiuni cu soluri nereziduale. Poziția anomaliilor față de corpurile de minereu care le-au generat este adesea influențată de tectonica regiunii, deasupra fracturilor ce afectează corpurile de minereu observîndu-se concentrații mai mari.

Conținuturile ridicate ale unor gaze inerte (He, Ne, Ar) și a H_2S și CH_4 sînt în unele cazuri indicatori pentru zăcăminte hidrotermale tinere, iar Rn pentru zăcăminte de uraniu.

Prelevarea probelor de gaze se execută pe profile orientate perpendicular pe structura regiunii, iar probele sînt luate din atmosferă, totdeauna de la aceeași distanță de sol și la presiune constantă sau prin extragerea gazelor din sol, de la aceeași adîncime, cu ajutorul unor pompe. Probele sînt închise ermetic în recipienți de sticlă, iar analizele se recomandă a fi executate în cel mai scurt timp, pentru evitarea unor reacții posibile cu pereții vaselor.

Metoda este recomandată pentru prospectarea zăcămintelor de mercur, în special, și a celor hidrotermale cu sulfuri, în general.

Cercetarea *suspensiilor* (aerosolilor) este o altă posibilitate de investigație caracteristică prospecțiunii atmogeochimice. Principiul se bazează pe posibilitatea existenței în atmosferă a unor particule cu compoziția formațiunilor de la suprafață. Metoda poate fi aplicată la prospectarea tuturor tipurilor de minereuri, cu condiția ca acestea să afloreze. În funcție de dimensiunile suspensiilor, greutatea lor specifică și condițiile atmosferice, acestea se pot întîlni în concentrații decelabile pînă la altitudini de ordinul a o sută de metri. Acest fapt permite posibilitatea colectării probelor din avion, prin survolarea unor regiuni întinse după profile egal distanțate (100—500 m). În cele mai multe cazuri, probele se colectează prin filtre de tipul unor țesături confecționate din mătase sau material plastic, particulele fiind reținute ca urmare a încărcării electrostatice a materialului la frecarea cu aerul. Filtrele sînt arse, iar cenușa rezultată analizată.

Metoda este recomandată în prospectarea preliminară a regiunilor deșertice sau semideșertice lipsite de sol sau cu soluri scheletice.

3.5. PROSPECȚIUNEA BIOGEOCHIMICĂ

Metoda biogeochimică de prospecțiune utilizează elemente de geobotanică. Geobotanica la rîndul ei se ocupă cu studiul vegetației prin unitatea sa de bază *asociația de plante*. Asociația de plante reprezintă o grupare de plante cu o anumită compoziție floristică, structură, ecologie, dezvoltată pe un substrat caracteristic, bogat sau nu în anumite minerale utile. Indicatoare sînt doar acele plante ce au proprietatea de a se dezvolta pe roci sau soluri cu caractere proprii, în prezența unor elemente cum ar fi: Ca, Na, Cu, Zn, Fe, Mg, Mn etc. Excedentul sau lipsa elementelor chimice în roci, sol și ape determină reacții diferite din partea plantelor, reflectate în compoziția chimică din unele organe vegetative (rădăcini, tulpini, frunze, semințe).

S-a constatat că pe zăcămintele de minereuri sau pe diverse roci, apele de infiltrație conțin cantități uneori importante de metale, fapt ce se reflectă în aceeași măsură și în creșterea acestui conținut în plantele de pe substratele sus amintite.

Metodele de prospecțiune pentru zăcămintele de minereuri folosesc atît elemente geobotanice, cît și elemente biogeochimice avînd la bază relații directe ce există între compoziția chimică a rocilor, solurilor și apelor de infiltrație sau de suprafață, precum și între compoziția chimică, morfologia unor părți vegetative ale unei specii caracteristice.

Metoda geobotanică include printre altele: prospectarea zăcămintelor în funcție de plantele indicatoare; — utilizarea ca indicii de prospecțiune schimbările survenite în morfologia externă a plantelor și eventual ritmul sau rata creșterii, în funcție de excesul într-un element sau mai multe elemente: — prospectarea zăcămintelor prin plante ca surse indicatoare indirecte.

Plante indicatoare. Plantele indicatoare se caracterizează prin apartenența exclusivă față de un substrat (roci, soluri), cu o anumită compoziție chimică, neîntîlnindu-se în alte areale sau pe alte substraturi.

După compoziția predominantă a unui element chimic, plantele indicatoare sînt grupate în:

— *plante oligotrofe* întîlnite pe soluri sărace în substanțe minerale. Apar în arealele mlăștinoase, turboase (*Sphagnum* — Mușchiul de turbă) sau pe substraturi acide (*Nardus*);

plante nitrofile se întîlnesc pe substraturi bogate în azotați. Cea mai mare cantitate de săruri de azot provine din descompunerea substanțelor organice moarte, la care se adaugă și azotul amoniacal adus de apele de precipitație. Indicatori de substanțe azotofile sînt *urzicile*. Abundența și creșterea lor sînt direct influențate de cantitatea de azot; cu cît aceasta este mai ridicată cu atît devin mai abundente și cresc atingînd dimensiuni de pînă la 2 m înălțime (Olsen, 1925);

Tabelul X.6

Corelația dintre plante și substratul mineral

Plante calcifile (substrat calcaros)	Plante calcifuge (substrat silicios)
Asplenium lepidum	*A. septentrionale*
Salix retusa	*Salix herbacea*
Gentiana clusii	*G. kochiana*

— *plante calcifile* (tabelul X.6) cresc numai pe roci calcaroase și pe soluri bogate în calciu(peste 3%);

— *plante calcifuge* indică substraturi silicioase sau de altă natură dar nu calcaroase;

— *plante zincofile* acumulează în organele vegetative cantități apreciabile din acest element. În frunzele de *Thlaspi calaminarium*, oxidul de zinc atinge concentrații maxime de pînă la 13,12%. O altă plantă zincofilă este *Viola calaminaria* (Toporașul).

[illegible]

Indiferent de metoda folosită, geobotanică sau biogeochimică, rezultatele sînt apropiate și este de dorit să fie utilizate împreună.

Teoretic se consideră că probele geochimice pot fi colectate din orice tipuri de plante. Utile sînt plantele ierboase, arbuștii și chiar arborii.

[illegible]u obținerea unor rezultate de comparație, probele se iau din aceleași spe[illegible] [illegible] apropiate, ce provin din aceeași familie sau din familii înr[illegible] [illegible]

[illegible] constatat că cantitățile de cenușă în plante și conținutul de metale în cenușă [illegible]

[illegible] de plante aleasă pentru probare trebuie să aibă un larg areal de [illegible] [illegible]drul regiunii studiate. Ca probă se poate alege orice organ al [illegible] [illegible] ramuri sau frunze). În funcție de structura anatomică și caracteristi[illegible] [illegible]tele părți vegetative ale plantelor prezintă în cenușă cantități in[illegible]

Tabelul [illegible]

Conținutul de metale în cîteva părți [illegible] de *[illegible]*

[illegible]	[illegible]	Cenușă	Conținuturi de [illegible]		
			Fe	Mn	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	0,3	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,0
	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,00	[illegible]

Pentru a se obține date comparative ale chimismului cenușii este necesar ca pro[illegible] [illegible] să provină din aceleași organe ale plantei sau ale plantelor. După S. [illegible] ([illegible]) elementele chimice se concentrează mai ales în anumite organe ale plantelor. De exemplu: Al — în rădăcini, Mn și Fe — în frunze, Mo — în rădăcini, Ba — în tul[illegible] [illegible]ini etc. S-a observat că la *Viola calaminaria* (Viorea) Zn se concentrează în frun[illegible] în timp ce același element se întîlnește în rădăcina de *Thlaspi arvense* (Punguliță[illegible]

Cele mai sugestive probe cu chimism ridicat sînt frunzele și scoarța, deoarece sînt organe în care se concentrează hrana cu elemente minerale. În schimb, elementele din rădăcină nu sînt concludente și nici probele din acest organ vegetativ.

S-a observat că conținutul metalelor în cenușa plantelor depinde de adîncimea corpurilor de minereu. Cu cît grosimea solului este mai mică, cu atît concentrația în metal din plante este mai mare, funcție directă a adîncimii de penetrare a rădăcinilor prin sol pînă la corpul de minereu (se cunosc cazuri de penetrare a rădăcinilor de la 10 m pînă la peste 25 de m).

Alegerea plantelor de probare trebuie să se facă în funcție de posibilitatea rădăcinilor acestora de a pătrunde în adîncime, în sol. Rezultate concludente se obțin numai atunci cînd colectarea probelor se face pe timp uscat sau în timpul ploilor mici, de scurtă durată.

După conținutul în cenușă, anomaliile biogeochimice utilizează microelemente din aureola de dispersie a zăcămîntului, ce urmează a fi identificate.

Dacă se analizează cenușa plantelor de pe zăcămintele de nichel, cobalt, și crom, se poate determina în ea conținutul în Ni, Co și Cr. sau pe zăcămintele polimetalice conținutul în Cu, Zn și Pb, în timp ce de pe cele de uraniu conținutul în U.

La zăcămintele de sulfuri (pirită, calcoprită etc.) aureola de dispersie este bogată în Fe, iar conținutul în Fe și Cu din plante crește. De aceea, conținutul ridicat în Fe din cenușa plantelor este un indiciu al prezenței în apropiere a unui zăcământ (fig. X.68).

Rolul de indicator pentru Na, Fe, Ti s-a constatat și în cenușa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat al unui zăcământ de pegmatite cu metale rare (fig. X.69).

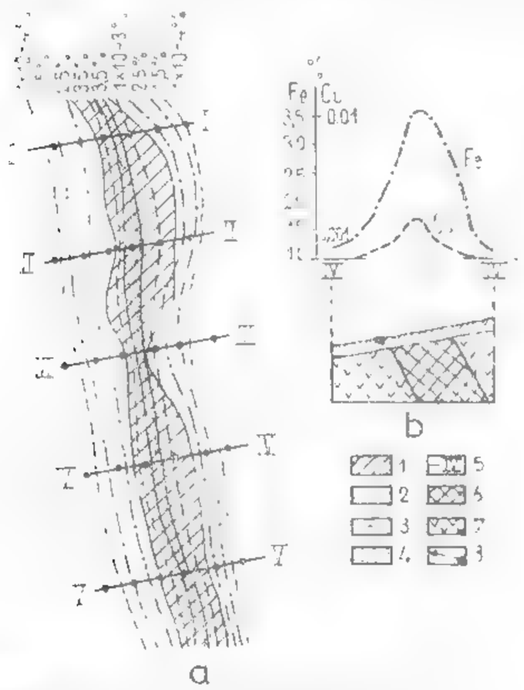


Fig. X.68. Anomalie biogeochimică la un zăcământ de pirită cupriferă din Ural (după A. Veselov):

a—zăcământul în plan; *b*—secțiune după linia *IV—IV*; *1* — conturul zăcământului; *2*—izolinia conținutului în Fe din cenușa plantelor; *3* — izolinia conținutului de Cu din cenușa plantelor; *4*—maxima anomaliei biogeochimice; *5*—profilul (aliniamentul) de prospectare; *6*—corpul de minereu; *7* — roci înconjurătoare; *8* — probe din rețeaua de prospectare

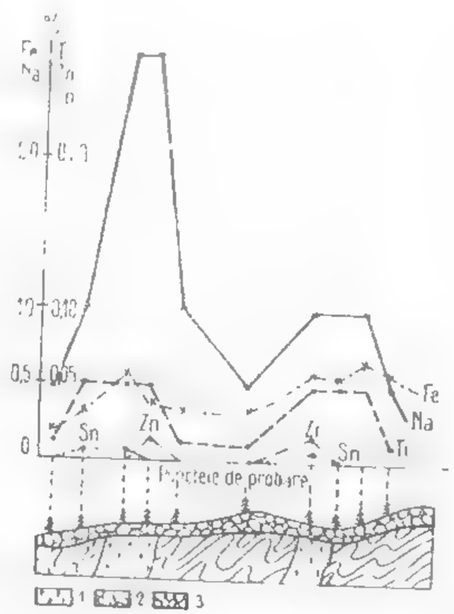


Fig. X.69. Diagramele conținutului de Na, Fe, Ti, Sn și Zn în cenușa de *Pinus siberica* dezvoltat pe un substrat de pegmatite cu conținut în metale rare:

1 — pegmatite; *2* — șisturi cristaline; *3* — formațiuni deluviale.

Pentru determinarea intensității anomaliilor biogeochimice se impune probarea și a unor exemplare (din aceeași specie) ce cresc în afara zăcământului, pentru a pune în evidență fondul biogeochimic natural din areal.

Colectarea probelor trebuie să se facă de pe organe ale plantelor ce cresc lîngă punctele rețelei ce urmează a fi prospectată. Astfel, pentru probe, plantele ierbacee se colectează integral, dar fără rădăcini. Dacă au dimensiuni prea mari se colectează numai probe din vîrf sau frunze.

Frunzele se culeg din orice regiune a plantei, dar nu de la o înălțime mai mică de 30 cm față de sol.

Pentru prospectarea minereurilor polimetalice, se colectează probe biogeochimice din ramurile de mesteacăn *(Betula)* cu grosimi de 3—6 mm și avînd lungimea de 10—20 cm (I. E. Wartington).

Greutatea unei probe trebuie să fie de 40 —50 g (în special în cazul frunzelor).

Fișa probelor biogeochimice are următorul conținut: 1. Descrierea zăcămîntului sau a regiunii...; 2. Data...; 3. Aliniamentul de prospectare nr ... punctul nr. ...; 4. Caracterul probei de material vegetal colectat.

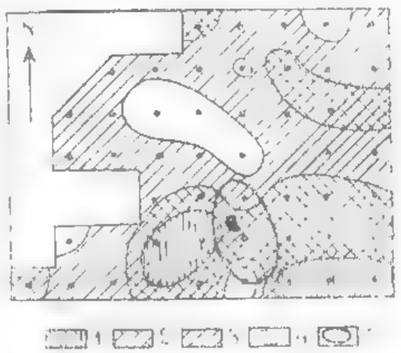


Fig. X.70. Rețea pătrată de prospecțiune: analize colorimetrice ale cenușii de *Listris pycnostichia*, în 10^{-3} %:

— 200 și mai mult; 2 — 141 — 199; 3 — 100 — 140; 4 — [illegible] — 99; 5 — limite [illegible] conturi mineralizate

Registrul probelor cuprinde: 1. Probarea zăcămîntului... executată de la data de... pînă la data de...; 2. Denumirea speciei de plantă aleasă; 3. Ce părți din plantă sau colectat...; 4. Numele și prenumele persoanei care a colectat proba; 5. Analiza cenușei plantelor.

Prelevarea probelor de material vegetal se execută pe aliniamente separate de prospectare, pe rețea dreptunghiulară sau rețea pătrată (fig. X.70). Lungimea aliniamentelor de traversare trebuie să aibă 100 m, nu numai în zona minereului, ci și în rocile înconjurătoare.

Rețeaua dreptunghiulară se utilizează la prospectarea zăcămintelor de formă tabulară, iar rețeaua pătrată la prospectarea zăcămintelor cu contururi izometrice. Desimea probelor depinde de complexitatea regiunii prospectate, de varietatea rocilor, de forma și de dimensiunile presupuse ale corpurilor de minereu (tabelul X.8) și de plantele alese ca indicatoare.

Desimea rețelei de prospectare prin metoda biogeochimică variază de la 15 × 15 m la 200 × 200 m și de la 50 × 100 m pînă la 200 × 40 m.

După delimitarea și fixarea rețelei de prospecțiune, se întocmește planul la scara 1: 1 000 sau 1: 5 000, pe care se trec aliniamentele (profilele) de prospecțiune și punctele (probele) fixate pe rețea.

Prelucrarea probelor. Prima operație de prelucrare este purificarea probelor de praf care, prin impurități, poate denatura rezultatul analizelor chimice ale cenușii obținute din plante.

După această operație probele se usucă și se macerează sub forma unui detritus vegetal, pînă cînd ajunge un fel de pulbere măruntă.

Arderea probelor se efectuează în cuptoare speciale cu hurduf, la temperaturi de 450—500°C, pînă la obținerea cenușii uniforme. Pentru analize diverse este necesară o cantitate de 50 - 100 mg cenușă și numai 5—10 mg pentru analize spectrale.

Analizele calitative ale cenușii se execută prin metoda microchimică sau prin picurare, precum și prin metode spectrale semicalitative, colorimetrice și polarografice.

[illegible] *de birou și întocmirea raportului.* În faza de birou se execută planul [illegible] cu punctele de colectare a probelor biogeochimice, după care se întocmesc [illegible] prin grafice.

[illegible]

[illegible] de prospecțiune în funcție de dimensiunile corpului de minereu investigat

[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible] mult sau mai puțin	Relativ mari pînă la cîhectare	Pătrată: 200 × 200
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	200 × 50
[illegible]	[illegible] lățimea aflorimentului între 10 [illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	Dreptun[illegible]

[illegible] se desenează pe cale la scara 1:1000 sau 1:5000. Cunoscînd [illegible] de fond ale metalelor din cenușa plantelor, se pun în evidență [illegible] anomaliile biogeochimice cu valorile lor maxime. Pentru o [illegible] biogeochimice se completează cu diagrame speciale (secțiuni sau profile cu conținutul în metale din cenușa plantelor (fig. X.71).

Pe lîngă materialele enumerate, raportul trebuie să cuprindă considerații geobotanice, legătura dintre învelișul vegetal și substratul geologic, metodologia aplicată [illegible] raport se anexează: harta geologică a regiunii cercetate, planul cu poziția probelor [illegible] a anomaliilor biogeochimice.

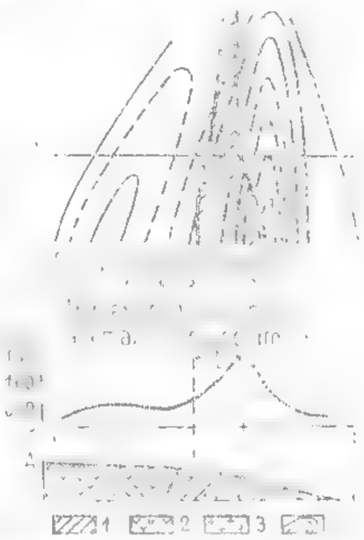
Interpretarea anomaliilor biogeochimice. O [illegible] să indice conținutul ridicat în cenușa plantelor pentru anumite elemente din minereu.

După gradul de intensitate, anomaliile se împart în:

— *anomalii intense*, cu conținut de metale în cenușa plantelor de zeci sau sute de ori mai mare decît conținutul fondului mineralogic;

— *anomalii slabe*, în limitele cărora conținutul de metale în cenușa plantelor este doar de cîteva ori mai mare decît al fondului mineralogic.

S-a observat că anomaliile biogeochimice sînt evidențiate atunci cînd corpurile [illegible] sînt plasate la adîncimi mici, sub 25 m, sau cînd există un conținut ridicat de metale în minereuri, precum și atunci cînd mineralele din minereu trec ușor în [illegible]



[illegible] ochimică a zacămîntului de fier de la Nikolsk (*a*) completată cu secțiune geologică după linia *A* – *B* și diagrama con[illegible] (*b*)

[illegible]

Anomaliile biogeochimice [illegible] pot fi mineral, deși este plasat la [illegible] în metale [illegible] fazonze [illegible] de alte [illegible] mare, [illegible] zăcămînte [illegible] de dispersie a sărurilor cu concentrații mici de metale. În funcție de conținutul metalogenic [illegible] zăcămintele sînt [illegible]

S-a observat că, la un zăcămînt de crom, conținutul în Cr din cenușa plantelor variază de la 0,08 la 0,20%, acolo unde minereul nu depășește adîncimea de 10—15 m, [illegible] scade între 0,01 – 0,05% la adîncimea [illegible]

Formarea unor astfel de anomalii este legată de aureole primare sau secundare de dispersie ale zăcămîntului. Deoarece conținutul de metale în aureole se micșorează pe măsura îndepărtării de corpul de minereu, și conținutul de metale în plantele în care rădăcini pătrund în aceste aureole depinde de adîncimea corpului de minereu. Uneori [illegible] anomalii biogeochimice slabe, legate de minereuri [illegible] situate aproape de suprafață, așa cum este cazul zăcămîntului de titano-magnetit de lîngă lacul Baikal [illegible]). Cu toate că în acest zăcămînt conținutul de [illegible] în cenușa plantelor este mai mare decît conținutul fondului, anomalia biogeochimică [illegible] slabă (S. M. Tkalici). Faptul se datorește mineralelor constituente ale zăcămîntului puțin propice transformărilor în zona de hipergeneză.

De multe ori, mărimile anomaliilor biogeochimice ale minereurilor se plasează la oarecare distanță de corpurile de minereu. Acest proces se explică prin conținutul neuniform în metale din zona aureolelor prin dispersii mecanice sau hidraulice.

S-a observat că anomaliile biogeochimice precizează mai bine poziția corpurilor de minereu decît anomaliile litochimice care dau limite destul de deplasate față de arealul corpului de minereu. Suprapunerea între anomalii se obține cînd probele metalometrice sînt prelevate din humusul solului (fig. X.73).

Utilizarea metodei biogeochimice la prospectarea zăcămintelor de minereuri. Metoda biogeochimică se utilizează în prospecțiunea minereurilor atunci cînd metodele litogeochimice nu dau rezultate pozitive. Acest lucru se constată atunci cînd

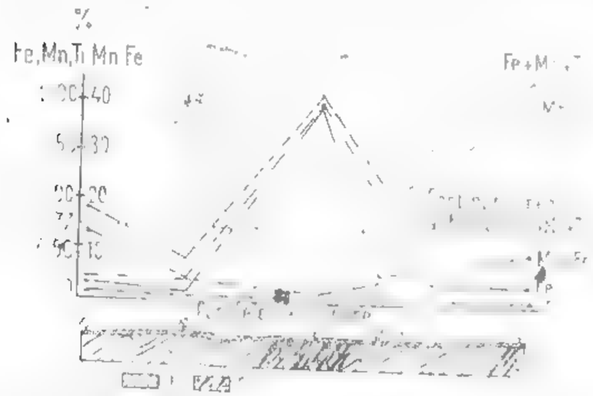


Fig. X.72. Conținutul de Fe, Mn și Ti în cenușa mesteacănului *(Betula la verrucosa)* într-un zăcămînt de titanomagnetit:

1 — roci metamorfice; 2 — titanomagnetit în gabouri.

Fig. X.73. Suprapunerea anomaliilor geochimice determinate după analizele solului și cenușii plantelor la un zăcămînt din Altai cu izoliniile conținutului în plumb în %:

1 — în sol; 2 — în cenușa plantelor.

- corpurile de minereu se plasează la adîncime mică sau au la suprafață areole de dispersie;

- cînd corpurile de minereu și rocile înconjurătoare sînt acoperite de depozite aluvionare sau cînd în arealul zăcămîntului apar podzoluri.

Metoda biogeochimică poate fi folosită și la descifrarea anomaliilor geofizice. Prin această metodă a fost conturat un zăcămînt din Munții Ural, după conținutul de Ni și Fe din cenușa plantelor. Corpul de minereu se afla sub depozite cu grosimi de 6 pînă la 10 m (A. A. Veselov). Într-o altă regiune, din Finlanda, s-a demonstrat că la grosimea depunerilor mlăștinoase de 3—7 m conținutul de molibden în frunzele de *Ledum palustre* (Șoaldină) este influențat direct de distribuția Mo în roca din cuibuș.

Se apreciază că adîncimea de utilizare a metodei biogeochimice cu rezultate pozitive în descoperirea corpurilor de minereu este de 30 la 50 m (A. P. Vinogradov).

Cele mai favorabile obiective pentru prospecțiunile biogeochimice sînt sulfurile și alte minereuri. Prin procese de oxidare se obțin produse solubile de alterare accesibile, sub formă de hrană, pentru plante. Aceeași metodă poate fi extinsă și în prospectarea zăcămintelor nemetalifere și chiar în cartările geologice. După conținutul în Fe din cenușa cetinei de brad *(Abies sibirica)* s-au putut stabili limitele cartografice dintre formațiunile sedimentare de vîrstă carboniferă și corpurile eruptive diabazice, depozitele fiind acoperite și ascunse sub aluviuni (fig. X.74).

S-a constatat că nu toate zăcămintele dau anomalii concludente. După *Vinogradov*, îmbogățirea plantelor și solurilor cu anumite elemente chimice depinde de multe cauze și înainte de toate de faptul dacă plantele cresc direct pe minereuri sau în apropierea lor. Experiența însă a arătat că plantele se îmbogățesc în metale de sute de ori în limitele cîmpurilor de minereu. Dar îmbogățirea chiar numai de 10 ori indică o mineralizare bogată. În acest caz are importanță schimbul de apă în plante, prezența rădăcinilor adînci, în special la plantele care trăiesc mai mulți ani. Prin

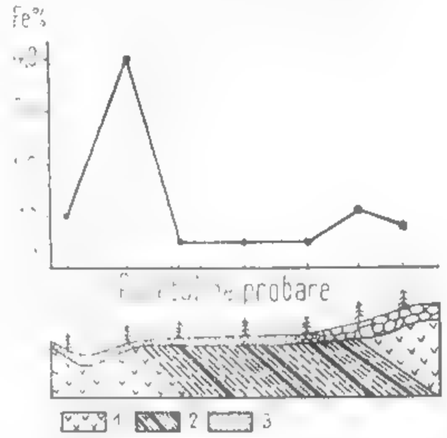


Fig. X.74. Diagrama conținutului în Fe din cenușa de *Abies sibirica* în zăcămîntul de la Kokuisk:

1 — [illegible]; 2 — formațiuni sedimentare de vîrstă carboniferă; 3 — aluviuni.

metoda biogeochimică este posibilă determinarea mineralizației pînă la adîncimea maximă de 100 m. Această metodă poate fi utilizată nu numai pentru prospectarea elementelor chimice ca Ni, Co, Zn, Pb, Cu, Sn, Ag, Cr, Mn, Fe, Au, W, Mo, U, V, ci și pentru alte elemente cum ar fi Se, Be, Sr, Ba.

În ultimul timp, numeroasele regiuni prospectate prin metoda biogeochimică în lume reliefează utilitatea practică a acestei metode.

XI. EXPLOATAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Prof. dr. docent, ing. APOSTOPA

1. OBIECTIVELE ŞI CLASIFICAREA EXPLORĂRII, ÎNTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

1.1. OBIECTIVELE EXPLORĂRII

După ce zăcămîntul de substanţe minerale utile a fost descoperit prin lucrările de prospecţiune, se trece la o etapă superioară a procesului de cunoaştere a acestuia care este *explorarea*.

Explorarea cuprinde totalitatea lucrărilor necesare pentru a contura rezervele industriale de substanţe minerale utile şi preciza condiţiile de exploatabilitate a zăcămîntului.

Explorarea are ca obiective:

— stabilirea rezervelor de substanţe minerale utile, atît cantitativ cît şi calitativ. În acest scop lucrările de explorare trebuie să pună în evidenţă forma zăcămîntului extinderea sa pe orizontală şi pe verticală, direcţia şi înclinarea lui, variaţiile în continuitate, variaţia conţinutului şi componenţilor utili, caracterul rocilor înconjurătoare, tectonica zăcămîntului, hidrogeologia, caracterul mineralizaţiei etc.;

— stabilirea datelor privind utilitatea zăcămîntului în condiţiile unei exploatări raţionale, precum şi posibilitatea transformării substanţei minerale utile în produs finit;

— să furnizeze toate datele necesare proiectării unei întreprinderi miniere.

1.2. CLASIFICAREA LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

Lucrările de explorare pot fi clasificate după scopul şi precizia lor, după metodele de lucru şi după natura substanţelor minerale căutate (tabelul XI.1).

a. După **scopul** şi **precizia lucrărilor**, explorarea se împarte în etape: explorarea preliminară, explorarea amănunţită sau de detaliu şi explorarea de pregătire sau de extindere.

Explorarea preliminară. Este prima etapă a explorării şi are ca obiectiv descifrarea în linii generale a formei zăcămîntului şi determinarea aproximativă a rezervelor acestuia.

Ea constă din lucrări mai puţin voluminoase, care se amplasează pe toată extinderea zăcămîntului, urmărind să determine cu aproximaţie:

— forma şi extinderea zonei mineralizate;

— adîncimea la care se găseşte zăcămîntul faţă de suprafaţă;

— caracteristicile geometrice ale zăcămîntului;

— natura mineralizaţiei şi variaţia acesteia pe direcţie şi înclinare;

— caracteristicile rocilor înconjurătoare.

Pe baza acestor elemente se face o evaluare economică a zăcămîntului.

Tabelul XI.1

Clasificarea lucrărilor de explorare

Criterii de clasificare	Felul explorării
a. După scopul lucrărilor şi gradul de aprofundare	Explorare preliminară Explorare amănunţită Explorare de pregătire şi în extindere
b. După metodele de lucru	Explorare prin lucrări miniere Explorare prin foraje Explorare combinată
c. După natura substanţelor utile	Explorarea zăcămintelor de minereuri Explorarea zăcămintelor de cărbuni Explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere şi roci utile

Cu această evaluare se încheie etapa explorării preliminare şi se întocmeşte proiectul explorării de detaliu.

Metodologia de explorare preliminară trebuie adaptată la caracteristicile zăcămîntului căutat, care sînt foarte diferite. Totuşi se pot deosebi două metode generale care pot fi aplicate la varietatea mare a condiţiilor de zăcămînt, şi anume:

— metoda directă, care cuprinde lucrările sistematice ce constau din puncte de interceptare izolate sau reţele uniforme, ce pot conduce la rezolvarea detaliilor fie direct, fie completate cu puncte secundare de interceptare;

— metoda indirectă, care constă în formularea unei ipoteze privind extinderea zăcămîntului bazată pe argumente geologice şi întocmirea proiectului de explorare.

În realitate, apar însă cazuri cînd nu se poate formula o ipoteză asupra zăcămîntului sau cînd argumentele sînt contradictorii. De aici necesitatea de a separa explorarea preliminară în două subfaze:

— *explorare preliminară pregătitoare, care* cuprinde: cartări, lucrări miniere uşoare de suprafaţă, scurte galerii, lucrări geofizice şi geochimice şi, de la caz la caz, unele lucrări de referinţă;

— *explorarea preliminară principală*, subfază în care se determină principalii parametri pentru studiul tehnico-economic de etapă. Se promovează o mare parte din rezervele probabile sau de categoria C şi se conturează părţile accesibile ale zăcămîntului,, precum şi caracteristicile acestuia (hidrogeologia, permeabilitatea etc.). Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări şi este de lungă durată.

Explorarea amănunţită (de detalia). Această etapă aduce o precizie mai mare în cunoaşterea elementelor caracteristice ale zăcămîntului, pe baza cărora se stabilesc

[illegible] calitativ și repartizarea acestora pe sorturi și sectoare, și se stabilesc caracteristicile tehnologice ale substanței minerale utile.

În funcție de gradul de uniformitate al mineralizației și de gradul de regularitate [illegible] într-o singură fază sau în [illegible]

Explorarea de detaliu nu încetează odată cu începutul exploatării și continuă [illegible] lucrări de exploatare.

Explorarea de pregătire și de extindere. [illegible] în adîncime, dînd ultimele precizări despre structura zăcămîntului, pentru exploatarea rațională a acestuia. În alte cazuri, la zăcămintele în exploatare, ea reprezintă extinderea explorării în zonele vecine și pregătirea pentru exploatarea propriu-zisă.

Această succesiune a explorării pe etape nu se aplică strict în practică. În timpul [illegible]rii, aceste etape se întrepatrund, se pot executa concomitent sau una din ele poate chiar lipsi, cînd rezultatele etapei [illegible] fără [illegible]

b. După **metodele de lucru,** explorarea se împarte, pînă la studiul de [illegible] prin lucrări [illegible]mbinate (miniere și foraje).

Explorarea prin lucrări miniere se realizează prin diferite lucrări care sînt [illegible], transeele, puțurile, galerii, șișee, jumpurile, planele înclinate, suitorile și [illegible]

Metoda de explorare prin lucrări miniere [illegible] mică tăietură de suprafață.

[illegible] anumi zăcămînt.

Explorarea prin forajele. [illegible] zăcămintelor de [illegible] sau [illegible] cunoștințe [illegible] obținute prin lucrări de [illegible] rapid și [illegible]

Explorarea combinată [illegible] fazele exploatării de cetate.

[illegible]

c. După **natura substanțelor minerale utile** [illegible] de minerii (fier, mangan, zăcămînt [illegible] cărbuni, [illegible] zăcămintele [illegible]

Natura [illegible] a zăcămintelor [illegible] scoarța impune anumite lucrări și o [illegible] de zăcămînt.

La baza rezultatelor obținute [illegible] putem [illegible] caracterizează un tip sau o grupă de zăcăminte [illegible] metoda de explorare cea mai [illegible]

Explorarea zăcămintelor de minereuri. Minereurile în funcție de [illegible] natural care determină [illegible] lucrărilor de explorare, [illegible] în trei grupe:

grupa I, care cuprinde zăcăminte [illegible] fără deranjamente și cu repartiția uniformă a componenților [illegible]

— grupa a II-a căreia îi aparțin zăcămintele cu dimensiuni [illegible]

Explorarea zăcămintelor de cărbuni. Zăcămintele de cărbuni apar, în [illegible] extindere variabilă. Explorarea lor se face [illegible]

1.3. INTOCMIREA PROIECTELOR LUCRĂRILOR DE EXPLORARE

[illegible]

— baza geologică, geografică și economică [illegible]

— soluțiile existente și cele estimate pentru rezolvarea problemelor explo[illegible]

— planificarea execuției lucrărilor [illegible]

[illegible] pînă la studiul tehnico-economic de etapă, sau pînă la darea în exploatare [illegible]

[illegible]

[illegible] de *deș*.

Rezultatele obținute într-o [illegible] pot fi *anuale*, cu [illegible]

de obicei pentru o perioadă de cîțiva ani.

Rapoartele de sinteză conțin următoarea schemă, formată din patru părți:

Partea I-ii — care se referă la situația geologică, cuprinde: date generale asupra regiunii în care este situat zăcămîntul; geologia regiunii, geologia zăcămîntului, caracteristicile calitative și tehnologice ale substanței minerale utile, condițiile hidrogeologice ale zăcămîntului, condițiile tehnico-miniere de exploatare și concluzii.

Partea a II-a — se referă la calculul rezervelor, cuprinzînd: metodologia de probare, determinarea parametrilor și calculul rezervelor, concluzii.

Partea a III-a — cuprinde anexele la text, situația topografică etc.

Partea a IV-a — cuprinde tabelele și materialul grafic referitoare la situația geologică, hidrogeologică, calculul rezervelor etc.

2. EXPLORAREA PRIN LUCRĂRI MINIERE

2.1. CRITERII DE PROIECTARE A LUCRĂRILOR MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere dau posibilitatea cercetării minuțioase a constituției și structurii complicate, obișnuite în zăcămintele de minereuri și pot fi readaptate în vederea extinderii cercetării zăcămîntului explorat și pus în exploatare. În mare parte, lucrările miniere de explorare vor putea deservi și viitoarea exploatare. În acest scop, ele trebuie concepute și executate pe baza unui proiect, în care să fie studiat ansamblul lucrărilor geologice în raport cu zăcămîntul și condițiile de exploatare. În proiect trebuie să se efectueze un calcul tehnico-economic, pe baza căruia să se tragă concluzia dacă acestea pot fi de la început construite pentru o durată mai lungă sau dacă este mai economic să fie abandonate și apoi reconstruite.

Condițiile care trebuie îndeplinite de lucrările miniere de explorare sînt următoarele:

— să se execute suficient de rapid pentru a nu lăsa investiții mari neproductive timp îndelungat;

— să fie efectuate pe baza unei documentații în care să se prevadă secțiunea, punctul de pornire, direcția, panta, canalul și alte date privind: săparea, transportul, aerajul etc., și specificarea privind utilizarea și durata;

— să poată fi readaptate pe parcurs;

— să fie evitată, pe cît posibil, plasarea lor în zone cu roci friabile sau care se dezagregă ușor, deoarece în afară de dificultățile în timpul lucrului, întreținerea lor este mai grea;

— să se țină seama de posibilitatea utilizării lor în viitoarea exploatare și de durata lor. Sub acest aspect se disting următoarele categorii de lucrări miniere:

a) *Lucrări de durată lungă, care necesită întreținere*, categorie în care intră: lucrări de acces principal la zăcămînt, de aeraj principal, de evacuare a apelor, lucrări de amenajare principale (galerii de pătrundere sau de legătură, de lung metraj); puțuri de transport și de aeraj; amenajări speciale (bazine de colectare a apelor, remize, depozite de explozivi etc.);

— lucrări de trasaj, de deschidere și de legătură (galerii transversale și galerii direcționale, suitori, rostogoluri).

b) *Lucrări de durată lungă care nu necesită întreținere*: galerii transversale și galerii direcționale; suitori și rostogoluri.

c) *Lucrări de durată problematică*: galerii de cercetare; suitori de cercetare.

d) *Lucrări de durată mică, cu scop limitat*: șanțuri, puțuri de mînă, breșe de cercetare, jompuri de cercetare, camere pentru instalația de foraj etc.

În proiectele generale trebuie justificate lucrările miniere, în special cele de lungă durată, de lung metraj sau cu costuri ridicate. Se vor mai prezenta și variante de lucrări miniere mai complete, care ar putea să deservească în continuare explorarea de detaliu sau chiar exploatarea.

Este recomandabil ca orice lucrare minieră proiectată să fie încadrată de la început în clasele de mai sus și să fie dimensionată și tratată în mod corespunzător.

În mod avantajos se pot explora, prin lucrări miniere, zăcămintele puțin înclinate de mică adîncime și zăcămintele de înclinare mare, dezvoltate în terenuri cu relief pronunțat deasupra nivelului văilor.

În general, ținînd seama de aceste condiții de zăcămînt, în proiectarea lucrărilor de explorare se aplică:

— explorarea prin puțuri de mînă amplasate pe aliniamente (linii) de explorare sau în rețea, pentru zăcămintele orizontale și puțin înclinate;

— explorarea prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri de mînă) și apoi în adîncime prin puțuri de explorare, galerii, suitori, coborîtori și plane înclinate pentru zăcămintele cu înclinare mare.

Metodologia explorării prin lucrări miniere are la bază următoarele operații:

— alegerea tipurilor de lucrări de explorare, ținînd seama de forma și așezarea zăcămîntului în scoarță;

— alegerea modului de amplasare a lucrărilor miniere;

— stabilirea intervalelor și a modului de probare a zăcămîntului;

— alegerea scării planurilor topografice și documentarea geologică a lucrărilor miniere.

Lucrările miniere de explorare prezintă avantajul că în bună parte pot fi folosite în faza de exploatare, iar din punct de vedere tehnic și științific asigură cea mai bună cunoaștere a unui zăcămînt. În anumite situații însă, datorită costului ridicat al acestora, sînt recomandabile forajele.

2.2. TIPURI ȘI SECȚIUNI DE LUCRĂRI MINIERE DE EXPLORARE

Lucrările miniere de explorare sînt: șanțurile, tranșeele, puțurile de mînă, puțurile de explorare, galeriile, planele înclinate, suitorile și coborîtorile.

Dintre acestea, șanțurile, tranșeele și puțurile de mînă se folosesc și în prospecțiune.

În condiții optime se explorează cu lucrări miniere zăcămintele cu înclinare mare, care aflorează sau sînt situate într-un relief accidentat, precum și cele cu înclinare mică, dacă nu sînt situate la adîncime prea mare de suprafață; în primul caz explorarea se continuă prin lucrări combinate: șanțuri, galerii, puțuri și suitori; în al doilea caz, primele lucrări vor fi puțurile sau planele înclinate, după care se continuă explorarea prin lucrări combinate: galerii și puțuri sau plane înclinate.

Forma, dimensiunile de săpare a lucrărilor miniere și modul de susținere a acestora sînt determinate de obiectivul urmărit, de natura formațiunilor prin care se sapă și de durata de existență precum și de lungimea proiectată a lucrării miniere respective. Toate acestea sînt reglementate prin Norme ale Ministerului Geologiei (tabelul XI.2)

Tabelul XI [illegible]

[illegible] secțiuni și profile de săpare ale lucrărilor miniere [illegible] modul de susținere și de utilizare a acestora

[illegible]		[illegible]		[illegible]				[illegible]		[illegible]	
Simbol	S	Simbol	S	Simbol	S	Simbol	S	Simbol	S	Simbol	[illegible]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	[illegible]
GALERII											
[illegible]	[illegible],50	[illegible]	[illegible]				—	—	—	—	
[illegible]	[illegible]		[illegible]				[illegible],00	—			
[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	6,70						
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible],50	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	G4P	[illegible],70	G4Pp	
[illegible]	[illegible],50					[illegible]	[illegible],00	G5B	8,50	G5Pp	
[illegible]	8,00									G5Pp	
[illegible]	[illegible],40	[illegible]	6,70				—	[illegible]	11,50	[illegible]Pp	[illegible]
G8T	11,00							G8B	13,10	G8Pp	15,70
PLANE ÎNCLINATE											
PL1T	5,20	PL1L	6,70	PL1M	6,70	—		—	—	—	—
PL2T	8,00					PL2Mc	8,00	—	—	—	
SUITORI											
S1T1	3,20	S1L	5,10	—	—			—	—	—	—
S2T1	5,10	S2L	6,70	S2Tm	5,10	S2Mc	6,70	—	—	—	—
PUȚURI											
—	—	P1L	2,20	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P2L	3,60	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	P3L	5,50	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[illegible]				[illegible] mm	[illegible]	[illegible]		[illegible]
Simbol	S	Simbol	S			[illegible]	[illegible]	
13	14	15	16	17	18	19	20	21
				400	[illegible]		[illegible]	[illegible]
				4[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	3,00	4[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] 1500
[illegible]	[illegible]	[illegible]	10,20	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]00
[illegible]	[illegible],50			600	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	1[illegible],00			[illegible]	[illegible]	[illegible]		
[illegible]	[illegible],30			600	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]
		[illegible]	[illegible]	[illegible]				
		S1B[illegible]	[illegible]	[illegible]				
		S2[illegible]	6,7[illegible]	[illegible]00				[illegible]
					[illegible]			[illegible]
		—		[illegible]00	[illegible]			[illegible]
		P[illegible]	1[illegible],[illegible]	600	[illegible]	[illegible]		[illegible]
		P5[illegible]	20,[illegible]0	2 × 600	Gr[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	—	P6[illegible]	25,50	2 × 600	Gr[illegible]	1,[illegible]		[illegible]

sau ale Ministerului Minelor (pentru lucrările geologice prin lucrări miniere care au acces din incinta exploatărilor miniere și se execută în regie proprie a acestora).

Alegerea tipului de lucrări miniere (șanțuri, tranșee, puțuri, galerii etc.) depinde de forma și poziția zăcămîntului (corpului de substanță minerală) precum și de grosimea rocilor acoperitoare.

2.2.1. ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

2.2.1.1. Șanțuri de explorare

Sînt lucrări miniere de explorare simple și ușor de executat. Ele se execută în etapa explorării preliminare ca și în faza de prospecțiune, cînd rocile acoperitoare au grosimi de 0,5—4 m și cînd înclinarea zăcămîntului este, în general, mare.

Obiective urmărite. Șanțurile de explorare se folosesc în etapa de explorare preliminară, urmărind în principal verificarea și completarea datelor din prospecțiune, date referitoare la

— delimitarea mineralizației și a contactului dintre aceasta și rocile înconjurătoare;
— verificarea și trasarea mai exactă a liniei de afloriment;
— determinarea elementelor de poziție și geometrice ale corpului de substanță minerală utilă: direcție, înclinare, grosime, lungime etc.;
— completarea secțiunilor geologice;
— probarea corpului de substanță minerală utilă;
— cercetarea anomaliilor geofizice și geochimice;
— verificarea grosimii depozitelor acoperitoare;
— traversarea zonei alterate din cadrul unui afloriment etc.

Rezultatele obținute din șanțurile și tranșeele de explorare reprezintă argumente pentru amplasarea lucrărilor următoare, urmărindu-se totodată completarea informațiilor la suprafața corpului de substanțe minerale utile.

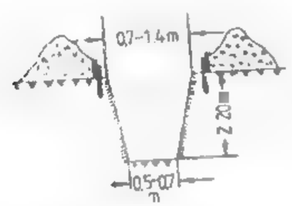


Fig. XI.1. Șanț de explorare cu profil trapezoidal.

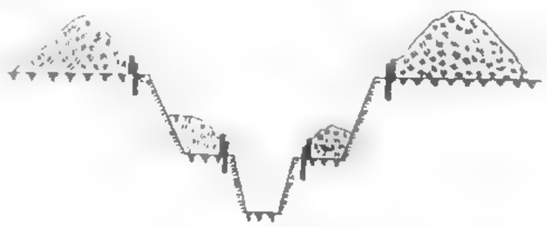


Fig. XI.2. Șanț de explorare cu pereții în trepte (secțiune transversală).

Forma și dimensiunile șanțurilor de explorare depind de tăria și grosimea formațiunilor acoperitoare. De obicei au profil trapezoidal, cu baza mică cuprinsă între 0,5 și 0,7 m, iar lățimea la gură de 0,7—1,4 m (fig. XI.1). Adîncimea șanțurilor nu depășește 2—4 m. La adîncimi de peste 2 m șanțurile se sapă în trepte (fig. XI.2).

Înclinarea pereților este de 1/10—1/5, în funcție de tăria rocilor. Lungimea șanțurilor este în funcție de obiectivul urmărit.

Șanțurile trebuie să pătrundă la bază în roca vie sau în mineralizație pe o adîncime de 0,10—0,50 m, putînd avea vatra orizontală sau înclinată, în funcție de configurația reliefului terenului în care se sapă.

Amplasarea șanțurilor de explorare. Șanțurile de explorare se utilizează în următoarele condiții:

— pentru zăcăminte de formă tabulară cu înclinare mare
— pentru zăcăminte mascate de depozite acoperitoare cu grosime cuprinsă între 0,5 m și 4 m, după ce au fost puse în evidență prin prospecțiune geologică, geochimică sau geofizică;
— în combinație cu puțurile de mînă și uneori chiar cu foraje de mică adîncime.

Pentru atingerea scopului urmărit prin șanțurile de explorare, la amplasarea lor se ține seama de o serie de factori cum ar fi

- rezultatele prospecțiunilor;
- forma și dimensiunile corpului, cunoscute pînă în acest stadiu;
- direcția și înclinarea corpului cunoscute din aflorimente sau din lucrările anterioare,
- grosimea depozitelor acoperitoare, evitîndu-se porțiunile de teren cu grosime mare (> 4 m), dolinele, văile inundabile etc., iar pentru zonele în care nu se dețin date sigure cu privire la grosimea depozitelor, șanțurile sînt precedate de cîteva puțuri de mînă sau chiar de foraje manuale;
- de prezența în zonă a unor obiective mai mult sau mai puțin accesibile

Atît amplasarea șanțurilor cît și executarea lor trebuie să pornească de la puncte sigure (cunoscute) pe cît este posibil) spre puncte mai puțin cunoscute

Amplasarea se poate face în funcție de obiectivele urmărite, după cum urmează:

- izolat;
- după linia presupusă de afloriment.
- pe aliniamente;
- în rețea;

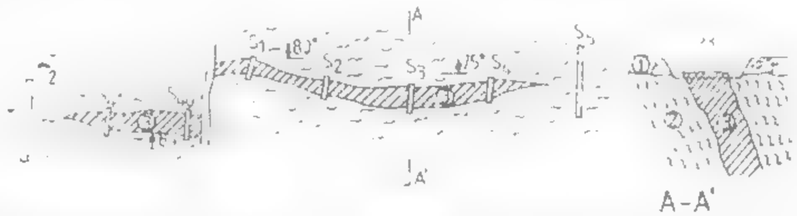


Fig. XI.3. Amplasarea șanțurilor de explorare urmînd linia presupusă de afloriment a unui corp mineralizat de formă tabulară

1 — depozite acoperitoare (sol vegetal); 2 — șisturi cristaline; 3 — corp tabular de min. mineralizate pe direcția S_1, S_2 ... S_{12} — șanțuri de explorare pe direcția

În ce privește etapa de cercetare, șanțurile se utilizează în prospecțiune, în explorarea preliminară, cu totul excepțional în explorarea de detaliu și în explorarea de extindere în suprafață.

În *cazul zăcămintelor de formă tabulară cu înclinare medie sau mare*, amplasarea șanțurilor urmărește, de regulă, linia presupusă de afloriment (fig. XI.3), explorarea fiind în combinație cu alte tipuri de lucrări (puțuri de mînă sau foraje), pre-

cînd aceste lucrări, sau se mai rar utilizează și în mod izolat. Indiferent de [illegible] sînt distribuite spațiat, fiecare șanț se amplasează cu axa mare cît mai perpendicular [illegible] rea șanțuri or în etapa de explorare trebuie făcută în așa fel încît să nu se suprapună.

Fig. XI.5. [illegible] șanțurilor [illegible] aproximative [illegible] și [illegible] necesare.

[illegible] *mare mică* (≤ 15°), *orizontale sau* [illegible] *lenticulare și colonară*, localizate cît mai aproape de baza de eroziune. Șanțurile se amplasează pe toată suprafața corpului, în rețea sau pe aliniamente (dacă grosimea depozitelor acoperitoare este mai mică de 4 m), sau în combinație cu puțuri de mină sau și foraje de la suprafață (cînd numai anumite porțiuni permit explorarea cu șanțuri). Rețeaua, în ambele situații, poate avea formă pătratică sau dreptunghiulară. În situația concretă din fig. XI.4 (zăcămînt de formă colonară — *porphyry copper*) — se amplasează în zona centrală, pe baza anomaliilor geofizice, puțuri de mină, iar în zona limitei geologice presupuse (perpendicular pe aceasta) [illegible]

În *cazul zăcămintelor metasomatice de contact* (fig. XI.5) șanțurile se amplasează în explorarea preliminară pentru verificarea anomaliilor geofizice. În acest caz ele au lungime mai mare și, pentru punerea în evidență a limitei dintre rocile carbonatice și skarn, pe de o parte, și a limitei dintre skarn și rocile eruptive pe de altă parte, iar indiferent de scopul urmărit, șanțurile se amplasează pe *aliniamente paralele*.

Șanțurile se mai amplasează și pe *aliniamente neparalele* (fig. XI.6), urmărindu-se în acest caz punerea în evidență într-o primă fază a sorturilor de mineral și a [illegible] corpului eruptiv, urmînd ca investigarea în profunzime să se facă cu foraje.

Pentru situațiile în care șanțurile se folosesc în combinație cu puțuri de mină [illegible] foraje (fig. XI.7) — cazul explorării unor zăcăminte de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontale, localizate într-un relief mai puțin accidentat cu treceri la zone [illegible] relief accidentat — șanțurile de explorare completează șanțurile de prospecțiune în ce privește trasarea cît mai exactă a liniei de afloriment, fiind urmate de puțuri de mină sau de foraje, după cum relieful permite acest lucru.

Săparea și susținerea șanțurilor de explorare. Săparea se face manual, în arii de slabă consistență cum sînt solurile, aluviunile etc. și cu ciocanul de abataj sau cu explozivi, în rocile tari și foarte tari. În terenuri cu pante mici sau mijlocii, în argile, nisipuri, pietrișuri, săparea șanțurilor se face cu ajutorul excavatorului.

Evacuarea materialului derocat se face prin lopătare directă sau în cascadă, cu ajutorul unor poduri ajutătoare.

Șanțurile nu se susțin decît în anumite cazuri, cînd rocile au stabilitate [illegible] și cînd [illegible] în [illegible] cu margini de lemn sau cu scîndurii cu grosime de 25 mm, care se așază în lungul pereților șanțului și se întăresc cu propte (spraițuri) fixate la intervale de 1—1,5 m

Fig. XI.5. Amplasarea șanțurilor paralele pentru verificarea [illegible] și delimitarea zonei de skarn:

1 — [illegible]; 4 — anomalie geofizică; 5 — limită geologică; $S_1 \ldots S_{12}$ — șanțuri de explorare

Fig. XI.6. Amplasarea șanțurilor paralele neparalele pentru explorarea zăcămintelor de formă [illegible] (corpuri)

1 — antrezit mineralizat; 2 — [illegible] mineralizat; $S_1 \ldots S_{15}$ — șanțuri de explorare

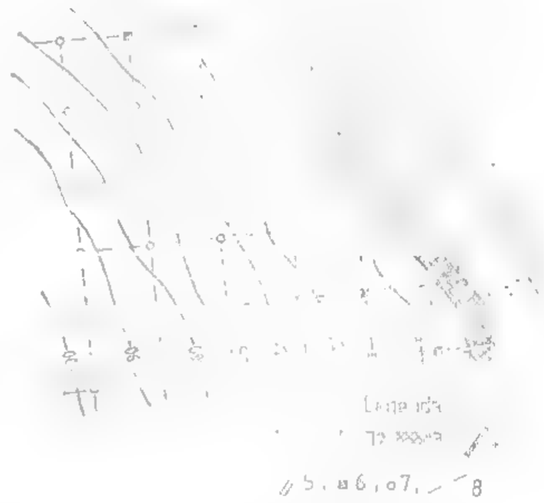


Fig. XI.7. Explorarea în rețea, cu șanțuri, puțuri de mină și foraje:

1 — depozite aluvionare; 2 — deluviu; 3 — zonă de afloriment; 4 — șanț de prospecțiune; 5 — șanț de explorare; 6 — puțuri de mină; 7 — foraje; 8 — delimitarea rețelei.

la deși sau la anumite distanțe, în funcție de stabilitatea rocilor, sau se pun în spațiile unor stîlpi care se fixează în [illegible] și [illegible] lungul acestora.

Documentarea geologică a șanțurilor de explorare. Documentarea geologică a șanțurilor este operația cea mai importantă din cadrul explorării cu aceste lucrări și începe imediat după săpare sau se face concomitent cu săparea. Ea trebuie executată cu foarte mare atenție, deoarece în funcție de rezultatele obținute se iau o serie de decizii în ceea ce privește continuarea cercetării

Fazele documentării sînt următoarele:

Amplasarea pe harta geologică sau pe planul de situație se face în funcție de scara acestora și în funcție de distanțele măsurate din teren (cu ruleta sau cu pasul), de la puncte deja ridicate topografic și care fac parte din hartă pînă la șanțul care face obiectul cercetării. Trecerea pe hartă sau pe planul de situație se face în funcție de azimutul orientării șanțului (al axei mari sau al laturii mari).

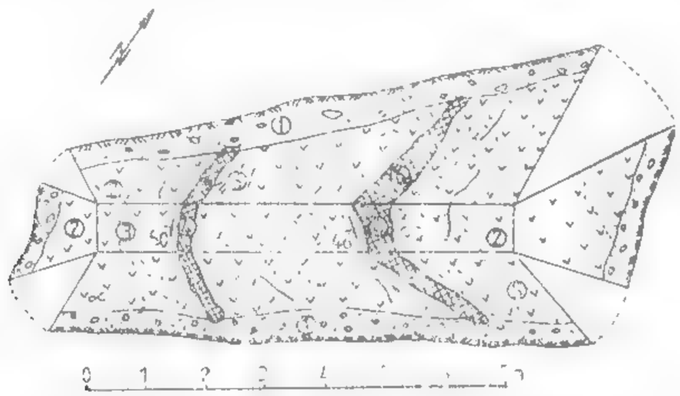


Fig. XI.8. Cartarea desfășurată a unui șanț

1 — sol, *2* — andezit nealterat, *3* — andezit alterat hidrotermal și fisurat, *4* — fisuri; *5* — limita de alterare; *6* — probă sub formă de brazdă.

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren și în teren, cuprinzînd două faze: cartarea desfășurată și descrierea șanțului.

C a r t a r e a d e s f ă ș u r a t ă se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1:20, 1:50, 1:100, 1:200 (rar) și 1:500 (foarte rar). Se cartează pereții, capetele și vatra șanțului (fig. XI.8).

Etapele cartării desfășurate sînt următoarele:

— măsurarea dimensiunilor și realizarea desfășurării (rabatarea pereților și a capetelor șanțului în plan orizontal);

— trecerea în revistă a formațiunilor și a elementelor structurale, fixîndu-se datele care se trec pe desfășurată,

— marcarea direcției nord și a direcției de săpare;

marcarea datelor mineralogice, petrografice, paleontologice (dacă este cazul);

marcarea elementelor structurale — falii, fisuri (evitîndu-se fisurile rezultate de la împușcare);

marcarea datelor hidrogeologice

marcarea zonelor de alterație

marcarea direcției și înclinării corpului de substanțe minerale utile și a faliilor;

marcarea locului de prelevare a probelor

marcarea porțiunilor care urmează a fi detaliate,

— marcarea tuturor detaliilor care pot fi menționate la scara aleasă, fără a îngreuna desfășurata.

D e s c r i e r e a ș a n ț u l u i se face imediat după cartarea desfășurată, dar nu înainte de întocmirea legendei cu semnele folosite la reprezentare. La descriere se trec următoarele date:

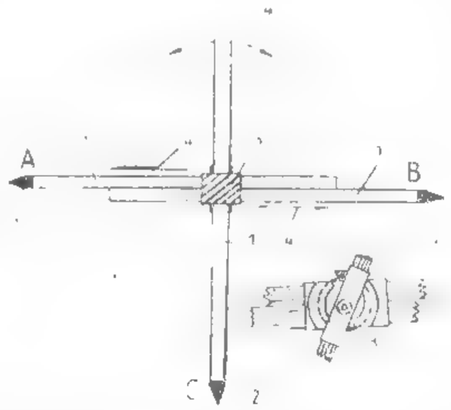
— numărul șanțului;
— amplasamentul șanțului;
— data începerii și terminării șanțului;
— dimensiunile șanțului;
— orientarea șanțului;
— descrierea fiecărui tip de rocă (observații macroscopice),
— descrierea substanței minerale utile;
— azimutul direcției, înclinarea corpului și a contactelor dintre roca înconjurătoare și corpul de substanțe minerale utile;
— gradul de alterare și fisurare;
— eventualele sorturi de minereu și a raporturilor dintre ele;
detaliile structurale (fisuri, falii); eventual se poate întocmi diagrama fisurilor;
caracteristicile hidrogeologice (debite, temperaturi, mineralizări etc.);
- descrierea punctelor fosilifere și a fosilelor;
— descrierea tipului de probe și a locului de probare;
— toate detaliile cu privire la observațiile făcute și care nu au putut fi menționate pe desfășurată la scară.

Atît cartarea desfășurată cît și descrierea șanțurilor servesc nemijlocit la întocmirea documentației finale (raportul de etapă).

Probarea substanței minerale utile se face atît pentru determinarea caracteristicilor mineralogice, petrografice, cît și pentru determinarea caracteristicilor chimice. Probele mineralogice și petrografice se recoltează prin metoda eșantionării.

Fig. XI.9. Dispozitiv cruce:

1 — rigle din lemn sau material plastic (*A*, *B*, *C*); *2* — capete metalice; *3* — placă din material nemagnetic; *4* — senzori de mișcare.



Probele chimice se prelevează sub formă de brazde amplasate pe unul din pereții șanțului și numai în cazuri excepționale (cînd mineralizația nu apare pe pereți) se recoltează și din vatră, deoarece pericolul de contaminare este foarte mare (v. și Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile).

Determinarea azimutului direcției și înclinării corpului zăcămîntului, a contactelor sau a faliilor se face cu *busola geologică* aplicată direct (la fel ca în cazul deschiderilor naturale) sau aplicată pe *dispozitivul cruce* (fig. XI.9). În cazul în care se folo-

c) corp de substanță minerală utilă înclinat, de grosume mare, interceptat de un șanț cu vatra înclinată în sensul pantei terenului și în sensul înclinării corpului (fig. XI.10, *d* și *e*):

— cînd $\alpha_s < \alpha_n$; $g_n = \sin\theta$; $\theta = \alpha - \alpha_s$; (fig. XI. 10, *d*);

— cînd $\alpha_s > \alpha_n$; $g_n = g_a \sin\theta$; $\theta = \alpha_s - \alpha$; (fig. XI. 10, *e*);

Abandonarea șanțurilor. Abandonarea șanțurilor se realizează după documentarea completă și constă în recuperarea materialului de susținere (dacă este cazul), după care urmează umplerea lui cu material excavat, pentru prevenirea accidentelor.

2.2.1.2. Tranșee de explorare

Dacă grosimea stratelor acoperitoare depășește 4 m, șanțurile se sapă cu profile mai mari, ca să se poată executa săparea și susținerea pereților, numindu-se în acest caz *tranșee*. Din ele, ca și din puțurile de mînă se pot săpa galerii, în scopul cunoașterii mai precise a rocilor acoperitoare (fig. XI.11).

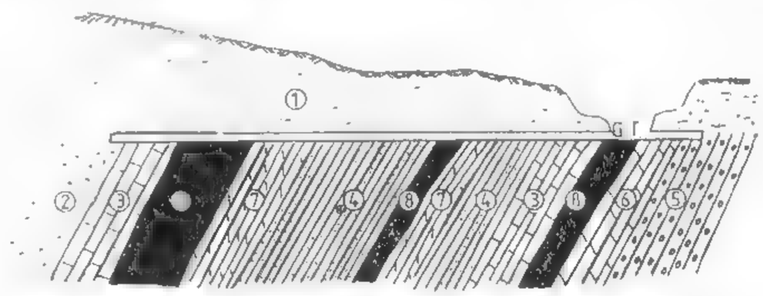


Fig. XI.11. Tranșee de explorare din care se pot executa galerii transversale:

1 — nisip argilos; *2* — nisip; *3* — calcar; *4* — gresie; *5* — conglomerat; *6* — marnă; *7* — argilă marnoasă; *8* — cărbune; *GT* — galerie transversală.

După documentarea geologică și raportarea lor la planuri, tranșeele se închid prin rambleiere, recuperîndu-se în prealabil susținerea în cazul cînd acestea au fost susținute.

2.2.2. PUȚURI DE MÎNĂ (ȘURFURI)

Puțul de mînă este o lucrare minieră de explorare ușoară, vrticală, executată de la zi, de adîncime și secțiune mică și de scurtă durată.

Obiective urmărite. Prin puțurile de mînă se urmărește, ca și prin șanțuri, determinarea elementelor de așezare a zăcămîntului, a caracteristicilor sale calitative și cantitative etc.

Pe lîngă aceste obiective se mai urmărește:

completarea datelor primite din șanțuri;

- traversarea rocilor acoperitoare de grosime mai mare de 4 m (cînd nu mai sînt eficiente șanțurile);

- executarea secțiunilor geologice (prin completarea datelor obținute din cartare și din șanțuri);

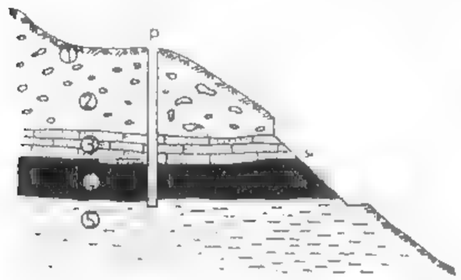


Fig. XI.12. Explorarea cu puț de mînă (surf) izolat, pentru completarea informațiilor din șanțuri:

1 - sol vegetal; 2 — depozite de terasă; 3 — gresii calcaroase; 4 — strat de cărbune; 5 — argilă; ș — șanț de explorare; p — puț de mînă.

probarea informativă a mineralizației (pe lîngă probe mineralogice, petrografice și chimice se mai recoltează și probe tehnologice);

identificarea pînzelor de apă;

cercetarea anomaliilor geochimice, geofizice etc.

Amplasarea puțurilor de mînă. La amplaasrea acestora se ține seama de indicațiile directe și indirecte cu privire la existența zăcămîntului, de morfologia terenului, evitîndu-se rocile și porțiunile inundabile, iar în zonele cu precipitații abundente se iau toate măsurile împotriva inundațiilor (amplasamentul se protejează prin șanțuri scurte pe înclinare în amonte de amplasament).

Locul de amplasare se nivelează, după care se marchează cu țăruși colțurile în cazul puțurilor de profil dreptunghiular și pătratic sau centrul cercului în cazul puțului de profil circular.

În cazul puțurilor de profil dreptunghiular se urmărește ca latura mare a puțului să fie perpendiculară pe direcția presupusă a corpului de substanțe minerale utile.

Puțurile de mînă se pot amplasa izolat, în cazul cînd înlocuiesc unele șanțuri (fig. XI.12), în funcție de cerințele locale, sau se pot amplasa pe aliniamente și în rețea în momentul în care completează o rețea de șanțuri (v. fig. XI.4 și respectiv XI.7).

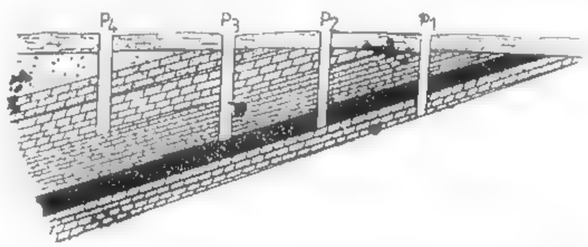


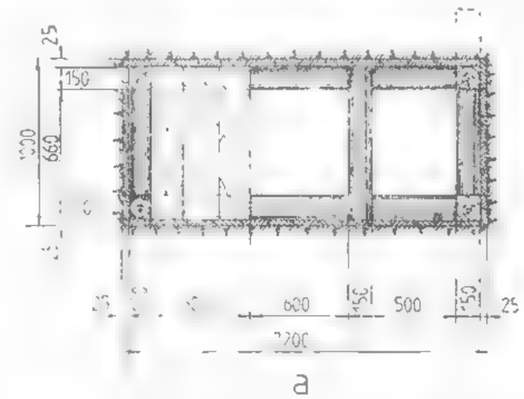
Fig. XI.13. Plasarea și adîncimea relativă a puțurilor de mînă.

Cînd se dispun pe aliniamente perpendicular pe direcția presupusă a corpului, puțurile de mînă se amplasează în asa fel încît distanța între aliniamente să fie un multiplu al distanței dintre puțurile de pe un aliniament, iar lucrările de pe direcția unui aliniament să nu formeze aliniamente cu celelalte aliniamente. De obicei, la alegerea distanței se are în vedere ca fiecare puț să traverseze stratul în care s-a oprit puțul precedent (fig. XI.13). Prin calcul această distanță se determină cu relația $L = A/\operatorname{tg} \alpha$.

în care A este adîncimea la care apare stratul reper în puț, iar α — unghiul de înclinare al stratului reper.

Folosirea puțurilor de mînă este indicată în toate etapele de explorare geologică, cînd situațiile concrete permit acest lucru (corpuri de dimensiuni mari, înclinare medie și mică, localizare cît mai aproape de suprafața terenului).

Forma și dimensiunile puțurilor de mînă. Puțurile de mînă au profil dreptunghiular și se sapă de regulă pînă la adîncimea de 15—20 m, rareori ajungînd pînă la maximum 30 m. Secțiunea de săpare a puțurilor de mînă se adoptă în funcție de adînci-



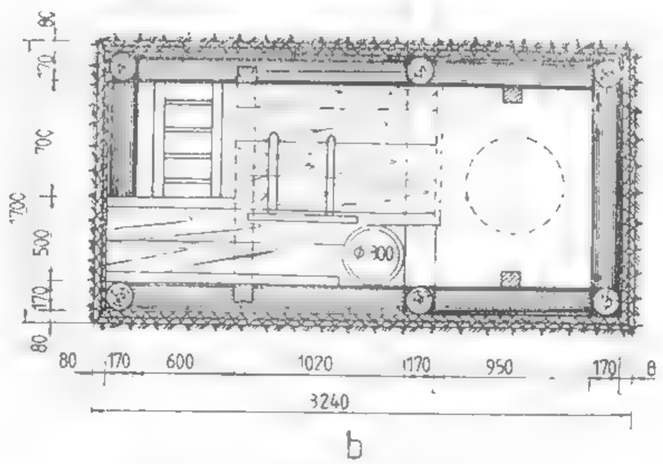


Fig. XI.14. Puțuri de mînă

a — PIL cu secțiunea de 2,20 m², *b* — PIL cu secțiunea de 5,50 m²

[illegible] cestora: 2,20 m² (fig. XI.14, *a*) pentru adîncimi pînă la 5 m, 3,60 m² (1 450 × [illegible] 50 mm) pentru adîncimi de 5—15 m și 5,50 m² (fig. XI.14, *b*) pentru adîncimi de [illegible] m. În toate cazurile puțurile de mînă se susțin în lemn și se compartimentează, unul din cele două compartimente fiind amenajat cu poduri și scări pentru circulație.

Săparea puțurilor de mînă se face la început cu unelte obișnuite (tirnăcop, cazma, lopată), pentru îndepărtarea solului și traversarea rocilor moi, după care pentru traversarea rocilor tari și foarte tari se folosesc găuri de mină și explozivi.

Evacuarea materialului pentru adîncimi mici, pînă la 2—2,5 m, se face direct, prin lopătare. De la adîncimi mai mari de 2,5 m, evacuarea materialului excavat din

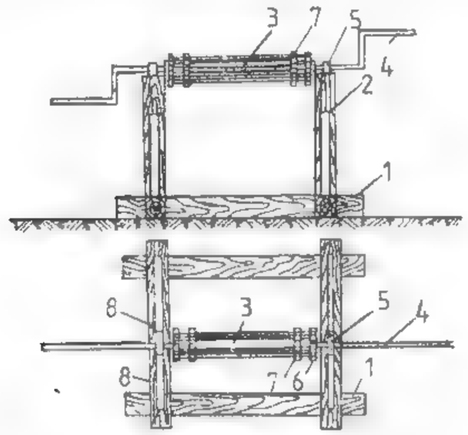


Fig. XI.15. Crivac:

1 — cadru de lemn; 2 — stîlp; 3 — tobă pentru înfășurarea cablului; 4 — manivelă; 5 — lagăr; 6 — dispozitiv de frînare; 7—cerc metalic; 8 — stîlpi înclinați.

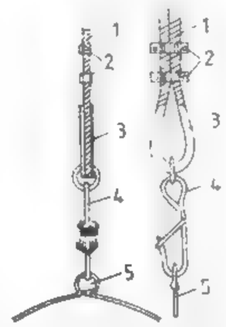


Fig. XI.16. Modul de legare a chiblei la cablul de extracție:

1 — cablu; 2—eclise de strîngere; 3 — inimă de oțel; 4 — cîrlig; 5 — toarta chiblei.

puț se face cu găleata sau se aruncă treptat pe poduri intermediare. Dacă puțul depășește adîncimea de 5 m, materialul se scoate cu ajutorul unui *troliu de mînă* sau *crivac* (fig. XI.15) și a unei găleți sau *chible*. Chibla este confecționată din lemn sau din tablă obișnuită întărită cu cercuri de oțel lat și este prevăzută cu un mîner (toartă) din oțel rotund. Are o formă cilindrică sau tronconică cu diametrul inferior de 0,25—0,35 m, diametrul superior de 0,35—0,40 m și înălțimea de 0,40—0,50 m.

Pentru ridicarea chiblei se folosesc cabluri de cînepă (Ø = 20—25 mm) sau de oțel (Ø = 6 mm). Legarea cablului la toarta chiblei se face ca în fig. XI.16.

Susținerea puțurilor de mînă se face, de la caz la caz, cu cadre din lemn rotund sau ecarisat și căptușeală de scînduri sau lăturoaie, așezate în spatele cadrelor de susținere. Cadrele se așază în cîmpuri, la intervale de 1 — 1,5 m, sau în desiș. Susținerea se face de jos în sus, pe tronsoane de 2 m. La baza fiecărui tronson se așază un cadru de sprijin numit *tropan*, care are fixate în pereții puțului capetele a două grinzi opuse. Cadrul de sprijin susține cadrele de susținere de deasupra, pînă la cadrul de sprijin următor.

Cînd susținerea se face în cîmpuri, între cadre se așează stîlpi (popi) în cele patru colțuri.

Îmbinarea grinzilor cadrelor se face în prag sau coadă de rîndunică. Circulația se face pe scări fixate pe poduri cînd puțul de mînă are adîncimi mai mari, sau mobile pentru adîncimi mici.

Podurile se așază pe cadrele de sprijin (tropane) și au deschideri (ferestre) de trecere de 600—700 mm.

Aerajul se face prin difuzie sau prin agitarea aerului cu chibla în mișcare. Pentru adîncimi mai mari se folosesc suflaiuri sau paravane de vînt construite din tablă, scînduri sau foi de cort.

Evacuarea apei se face cu ajutorul chiblei, dacă debitul de apă este mai mic de 6 l/min, iar la debite de pînă la 5 m³/h, evacuarea se face cu pompe de mînă.

Săparea și susținerea se face de către echipe de mineri, pe baza unui grafic de execuție a lucrării. Norma de lucru se fixează în m³/post pentru evacuare și separat pentru susținere.

Documentarea geologică a puțurilor de mînă. La fel ca și în cazul explorării cu șanțuri, documentarea puțurilor de mînă este o operație foarte importantă, care începe odată cu săparea puțurilor sau se poate executa și după săpare, dar înainte de susținere. Urmărirea săpării puțului de mînă de către un geolog dă posibilitatea luării unor decizii privind continuarea sau sistarea executării lui la momentul oportun.

Documentarea puțurilor de mînă cuprinde următoarele etape:

Ridicarea topografică reprezintă o operație importantă din cadrul documentării și cuprinde:

- stabilirea coordonatelor locației;
- măsurarea adîncimii (determinarea cotei vetrei);
- stabilirea verticalității puțului;
- măsurarea adîncimii corpului de substanță minerală utilă față de suprafață;
- stabilirea adîncimii schimbărilor de litologie etc.

Operația de ridicare topografică se poate face de către geolog sau de către topograf, urmînd ca datele obținute să fie trecute atît pe planurile de situație (scara 1: 1 000; 1: 2 000 sau 1: 10 000) cît și pe restul de documente geologice (secțiuni, hărți cu izobate etc.).

Cartarea geologică se face pe carnetul de teren pe măsură ce se execută puțul de mînă și cuprinde, la fel ca în cazul șanțurilor, două etape principale: *cartarea desfășurată* și *descrierea geologică* a puțului de mînă.

Cartarea desfășurată se realizează pe hîrtie milimetrică la următoarele scări: 1: 50, 1: 100; 1: 200 și 1: 500 (rar). În mod obligatoriu se cartează pereții și vatra puțului de mînă (fig. XI.17).

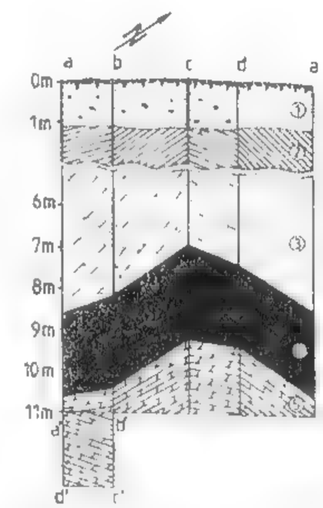


Fig. XI.17. Cartarea desfășurată a unui puț de mînă cu profil dreptunghiular:

1 — sol; 2 — argile; 3 — nisip argilos; 4 — cărbune; 5 — marnă.

Pe planul desfășurat se trec:

- orientarea unuia dintre pereți sau orientarea unui diametru (în cazul puțurilor de profil circular);
- scara grafică verticală;
- dimensiunile puțului;
- elementele de așezare a corpului de substanță minerală utilă;
- elementele structurale;
- elementele geologice (mineralogice, petrografice, paleontologice etc.),
- elementele hidrogeologice
- porțiunile de detaliere;
- locurile de prelevare a probelor etc.

D e s c r i e r e a g e o l o g i c ă a puțurilor de mină se face în continuarea porțiunii cartate desfășurat și cuprinde

numărul și denumirea puțului,

orientarea puțului

- amplasarea puțului (distanța pînă la reperele topografice, coordonatele locației etc.,.

data începerii și terminarea puțului

dimensiunile puțului

observații de ordin geologic, la fel ca și la șanțuri, care nu se pot [illegible] pe desfășurată ca urmare a scării alese

- observațiile de ordin hidrogeologic

– descrierea porțiunilor detaliate;

descrierea tipurilor de probe și a locurilor de prelevare etc.

Se recomandă, atît în cazul cartării desfășurate, cît și al descrierii puțurilor, ca înainte de abandonare să se mai facă încă o verificare pentru a nu scăpa o serie de detalii.

Probarea substanței minerale utile în puțurile de mină se face respectînd toate condițiile probării. Se prelevează probe mineralogice, petrografice, chimice și tehnologice (pentru faza de laborator și pilot).

Probele mineralogice și petrografice se prelevează prin metoda eșantionării pe tipuri petrografice sau pe sorturi.

Probele chimice se recoltează prin metoda brazdelor amplasate pe unul din pereți, după grosimea normală (zăcăminte cu înclinare mică și orizontale), cînd aceasta se încadrează pe peretele puțului sau după grosimea aparentă verticală. În cazul unei variații foarte mari a conținutului în componenți utili se probează doi pereți opuși, în final făcîndus-e media conținutulrilor.

Probele tehnologice se recoltează prin răzuirea pereților puțului sau prin reprofilarea puțului.

Metodica probării substanței minerale utile în puțuri este tratată în secțiunea XII.

Determinarea elementelor spațiale a corpului de substanță utilă presupune determinarea: direcției, înclinării și a grosimii reale (normale).

D i r e c ț i a ș i î n c l i n a r e a se pot măsura *direct* cu busola pe fața de strat (la fel ca în cazul deschiderilor naturale), pe măsură ce se sapă puțul, sau cu busola aplicată pe dispozitivul cruce (procedeul fiind asemănător ca în cazul șanțurilor), s-au se poate determina *indirect* prin metoda desfășuratei și metoda proiecției cotate.

Determinarea direcției și înclinării pe baza elementelor obținute din cartarea desfășurată (metoda desfășuratei) presupune metarializarea pe desfășurată a unei intersecții a unui plan din cadrul zăcămîntului (planul culcușului, acoperișului sau a planului median) cu pereții puțului (fig. XI.18). Dreapta AA' reprezintă intersecția dintre un plan orizontal și planul pereților puțului (rabatați în plan vertical); punctele A, B, C, D, A' reprezintă intersecția planului zăcămîntului cu muchiile a,b,c,d,a' punctul N este locul de intersecție a urmei planului $(ABCDA')$ cu dreapta AA'; O reprezintă intersecția dreptei $\overline{AA'}$ cu muchia b.

Prin rabaterea segmentului ON pe muchia b $(ON = ON')$ și unirea punctului N' cu A obținem segmentul AN', care reprezintă direcția stratului rabatată în plan vertical (intersecția planului orizontal cu planul stratului). Pentru aflarea azimutului direcției corpului de substanță minerală utilă se adună azimutul peretelui $aba'b'$ (δ) cu unghiul δ_1 (unghiul dintre direcția stratului și peretele ab).

Înclinarea (α) se determină ducînd din punctul O perpendiculara $\overline{OM}$ $(\overline{OM} \perp AN')$, care reprezintă proiecția liniei de cea mai mare pantă în plan orizontal (în rabatere), după care printr-o mișcare de rabatere ducem segmentul $\overline{OM}$ pe dreapta $\overline{AA'}$ $(\overline{OM} = \overline{OM'})$; unind punctul M' cu B se obține dreapta $\overline{M'B}$ reprezentînd linia de cea mai mare pantă rabatată în planul $aba'b'$, iar unghiul α este unghiul real al înclinării stratului.

În cazul în care se cunosc coordonatele unui punct al stratului (punctul în care o muchie intersectează planul stratului) prin care trec două trepte conținute în planul stratului (respectiv urma stratului pe doi pereți adiacenți unei muchii) – fig. XI.19 – se poate determina direcția și înclinarea folosind *metoda proiecției cotate* (metoda grafică).

În această figură, un puț vertical, de profil dreptunghiular, intersectează acoperișul stratului în punctul A (x_1, y_1, z_1), iar în pereți $a-b$ și $a-d$ avem urma acoperișului stratului, respectiv dreptele Δ_1 (δ_1, α_1) și Δ_2 (δ_2, α_2). Direcțiile $(\delta_1$ și $\delta_2)$ și înclinările $(\alpha_1$ și $\alpha_2)$ se pot obține prin măsurare directă cu busola geologică, iar coordonatele punctului A se pot determina în funcție de coordonatele locației puțului.

Pentru determinarea azimutului direcției stratului (β) și unghiului de înclinare α într-un sistem de axe de coordonate xOy se reprezintă punctul A și dreptele Δ_1 și Δ_2 (fig. XI.20), prin azimutele direcțiilor lor (direcțiile δ_1 și δ_2). Cu ajutorul unghiurilor

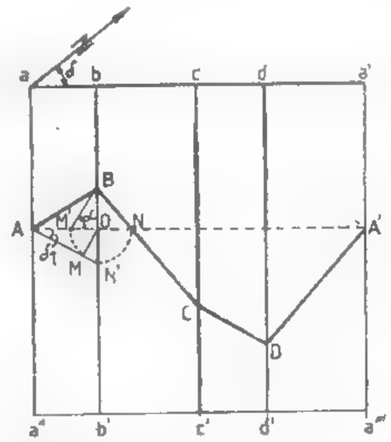


Fig. XI.18. Determinarea direcției și înclinării unui corp de substanță minerală utilă intersectat de un puț, prin metoda desfășuratei.

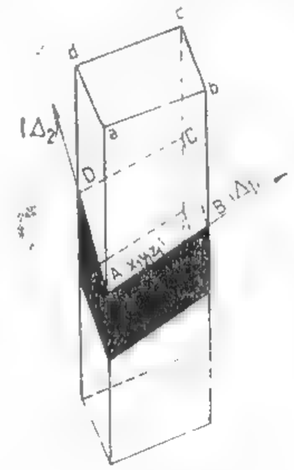


Fig. XI.19. Puț de explorare care intersectează un strat de cărbune.

le înclinare α_1 și α_2 ale celor două drepte se gradează proiecțiile Δ_1 și Δ_2, începînd din punctul A (fig. XI.21). Se determină punctele de aceeași cotă $(z_2 < z_1)$, pe cele două drepte $(AM$ și $\overline{AN})$, care prin unire ne dau dreapta $\overline{MN}$, dreaptă orizontală a planului stratului (direcția), iar azimutul acestei drepte este chiar azimutul direcției stratului (β).

Pentru determinarea unghiului de înclinare, din punctul A se duce o perpendiculară pe direcția (MN) pînă în punctul E (fig., XI.20); dreapta AE reprezintă pro-

iecția liniei de cea mai mare pantă într-un plan orizontal. Tot din punctul A se duce segmentul $A \cdot F = z_1 - z_2$ perpendicular pe segmentul $\overline{AE}$, și unind punctul F cu E se obține linia de cea mai mare pantă a stratului în mărime reală (FE), rabatată în ju-

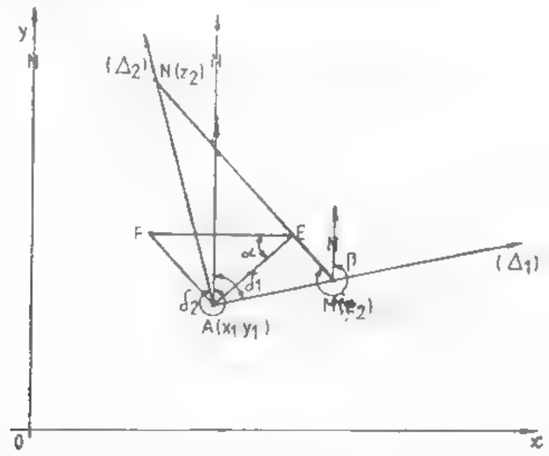


Fig. XI.20. Determinarea direcției și înclinării unui zăcămînt sub formă de strat, cunoscînd direcțiile și înclinările a două drepte din planul zăcămîntului.

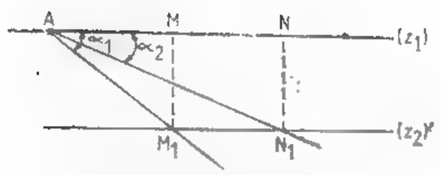


Fig. XI.21. Cotarea (gradarea) a două drepte în spațiu.

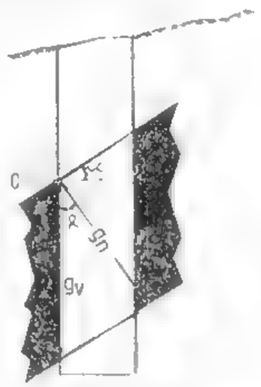


Fig. XI.22. Determinarea grosimii normale (g_n) în cazul unui puț.

rul segmentului AE: unghiul α reprezintă unghiul de cea mai mare pantă în mărime reală.

G r o s i m e a n o r m a l ă a unui corp de substanță minerală utilă se poate obține prin măsurare directă, în cazul în care aceasta se încadrează pe unul din pereți puțului, sau se poate determina în funcție de grosimea verticală (g_v) și de unghiul de înclinare a stratului după formula: $g_n = g_v \cos \alpha$ (fig. XI.22).

Abandonarea puțurilor de mină. Abandonarea puțurilor de mină, la fel ca și în cazul șanțurilor, este o operație căreia trebuie să i se acorde multă importanță și presupune următoarele faze:

— recuperarea materialului de susținere (parțial sau total);

— rambleierea cu materialul excavat, urmărindu-se evitarea formării golurilor subterane;

— împrejmuirea locului;

— verificarea modului de tasare, iar dacă este cazul trebuie intervenit pentru completarea cu material excavat.

2.2.3. PUȚURI DE EXPLORARE

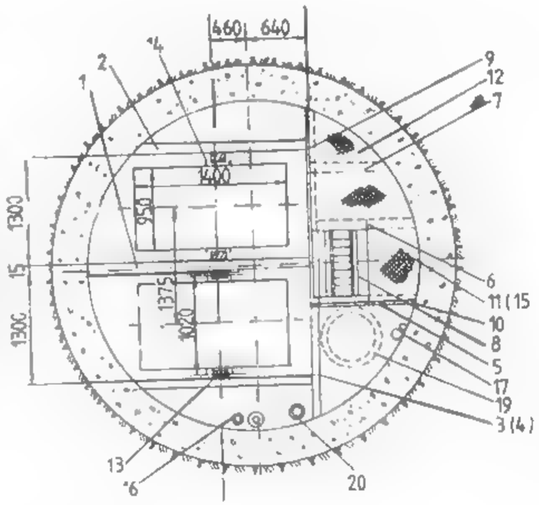
Puțurile de explorare sînt lucrări miniere verticale cu adîncimi și secțiuni mai mari decît ale puțurilor de mină. De regulă, ele fac legătura dintre orizontul de explorare de bază și lucrările miniere pentru explorarea extinderii zăcămîntului în adîncime și necesită o organizare mai detaliată a lucrărilor de execuție.

Obiective urmărite. Cu puțurile de explorare se construiește baza rețelei de lucrări miniere subterane pentru explorarea extinderii (amănunțită) a zăcămîntului în adîncime, stabilirea succesiunii stratigrafice și cunoașterea proprietăților fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare.

Forma și dimensiunile puțurilor de explorare. După adîncimea la care se execută și după secțiunea puțului se disting:

Fig. XI.23. Puț de explorare circular P4Bc—O 4,0 m, susținut în beton:

1 — moază centrală; *2* — moază laterală; *3* — moază transversală la pod; *4* — moază transversală; *5—6* cornier pentru pod și scară; *7* — cornier pentru pod; *8* — scară metalică; *9* — panou despărțitor lateral; *10* — panou despărțitor frontal; *11, 12* și *15* — tablă striată pentru pod; *13* — ghidaje; *14* — cornier pentru îmbinarea ghidajelor; *16* — țevi pentru aer comprimat și apă; *17* — cabluri electrice; *18* — beton pentru pereți; *19* — burlan de aerat; *20* — conductă pentru evacuarea apei.



— puțuri de mică adîncime, pînă la maximum 50—80 m, cu secțiune compartimentată — un compartiment pentru extracție și unul pentru circulație;

— puțuri de mare adîncime, peste 80—100 m, adîncimea maximă variind de la caz la caz, cu secțiunea compartimentată — 2 sau 3 compartimente.

Puțurile de explorare a căror adîncime depășește 80—100 m se sapă cu profil circular avînd diametrul de 4 m, 4,4 m sau 5 m (fig. XI.23), în funcție de adîncimea

proiectată (v. tabelul XI.2). Ele se susțin cu beton, grosimea pereților plus umplutura variind, în funcție de tăria rocilor, de la 250 + 100 mm în roci ET și FT la 300 + 100 mm în roci T și 300 + 100 sau 350 + 100 m în roci ST și M.

Gabaritul puțurilor se stabilește ținînd seama de următorii factori: adîncimea maximă a puțului, natura rocilor prin care se sapă, utilajul folosit, condițiile hidrogeologice, capacitatea de extracție, cantitatea și dimensiunile materialelor necesare lucrărilor de explorare în continuare, felul susținerii pereților puțurilor, sistemul de aeraj și de evacuare a apelor, posibilitățile de folosire a puțului pentru viitoarea exploatare.

Amplasarea puțurilor de explorare. Puțurile de explorare reprezintă o lucrare costisitoare și greu de executat. De aceea, amplasamentele lor, mai ales dacă se sapă de la suprafață, se aleg cu grijă, ținîndu-se seama de: topografia locului, natura rocilor, poziția puțului față de zăcămînt, alegerea celei mai scurte căi pînă la zăcămînt, suprafața necesară pentru amplasarea haldelor.

De multe ori, puțul de explorare se amplasează în afara corpului de zăcămînt pentru asigurarea stabilității sale și pentru a nu imobiliza o cantitate de rezerve în piciorul de siguranță al puțului. De obicei, puțul, ca și lucrările orizontale cu o durată mai mare, se amplasează în culcușul zăcămîntului.

Gura puțului nu trebuie amplasată în zone expuse inundațiilor sau în terenuri nestabile.

În sectorul în care se amplasează puțul se face o ridicare topografică cu indicarea curbelor de nivel din 0,25 în 0,25 m pe o rază de 150 m, din 0,5 în 0,5 m pînă la o rază de 250 m, și din 1,00 în 1,00 m pînă la 500 m.

Săparea puțurilor de explorare. Săparea se execută prin metode obișnuite, utilizînd unelte manuale și utilaje mecanice.

Pentru săparea puțurilor de explorare la adîncimi mai mari de 50 m și cu secțiunea de săpare mai mare de 6 m³, sînt necesare următoarele instalații și utilaje: turnul de săpare și mașina de extracție, instalațiile de aer comprimat, stația de ventilatoare, pompele pentru evacuarea apelor și atelierul mecanic.

Turnul de săpare al puțului poate fi construit din lemn sau din metal și se așază deasupra gurii puțului.

Dimensiunile și felul construcției gurii puțului sînt determinate de solicitările provocate de construcțiile care se sprijină pe gura puțului și de presiunile laterale ale terenului din jurul gurii puțului.

În mod obișnuit puțul se sapă mai întîi prin rocile alterate aflate la suprafață, pînă la rocile de bază. Pe această porțiune, pereți gurii puțului, care formează *gulerul*, se susțin provizoriu. După ce s-a ajuns în rocile de bază, se zidește un picior și apoi se execută susținerea definitivă a gurii puțului, cu beton.

După construirea gurii puțului se trece la construirea turnului de extracție. Sînt și cazuri mai rare, cînd se construiește întîi turnul de extracție provizoriu sau definitiv prevăzut cu troliu pentru săpare și apoi se sapă și se susține gura puțului. Acest procedeu poate pune însă în pericol turnul de extracție prin lucrările de explodare (împușcare).

Turnul de săpare susține, la partea sa superioară, roțile de ghidare (moletele) a cablurilor de extracție. El servește totodată pentru susținerea cablurilor, pentru suspendarea pompelor, pentru fixarea cablurilor de ghidare a chiblei, la montarea platformei de descărcare a chiblei. Turnul are forma unui trunchi de piramidă cu înălțimea de 6—10 m și este prevăzut cu trei platforme sau poduri: una superioară *pentru molete*, a doua așezată la 3 m deasupra gurii puțului — *platforma de descărcare*, și a treia așezată la nivelul gurii puțului — *platforma de încărcare*. Pe aceasta din urmă se așază plăci metalice și linile de cale ferată pentru transportul vagonetelor încărcate

cu materiale ce se introduc în puț. Elementele constructive ale turnului de săpare constau din stîlpi, grinzi și contrafișe. Cînd acestea sînt din lemn se consolidează prin buloane și șuruburi.

Mașina de extracție pentru săpare constă dintr-un troliu cu unul sau doi tamburi și cu dispozitiv de frînare. Ea se așază lateral, la o distanță între axa puțului și axa mașinii de extracție, astfel calculată, ca unghiul de înclinare a cablului să fie de 45—60°.

În funcție de tăria rocilor și afluența de apă, săparea se face prin metode obișnuite sau prin metode speciale.

Metoda obișnuită de săpare constă în excavarea și evacuarea rocii. În roci tari și foarte tari, excavarea se face cu ajutorul explozivilor, iar în roci moi cu ajutorul uneltelor manuale sau a utilajelor mecanice. În primul caz, după ce s-a stabilit numărul, adîncimea găurilor de mină și cantitatea de exploziv la un salt, se plasează găurile de mină. Plasarea găurilor de mină depinde de: forma secțiunii puțului, tăria, înclinarea și stratificația rocilor, tipul explozivilor folosiți etc.

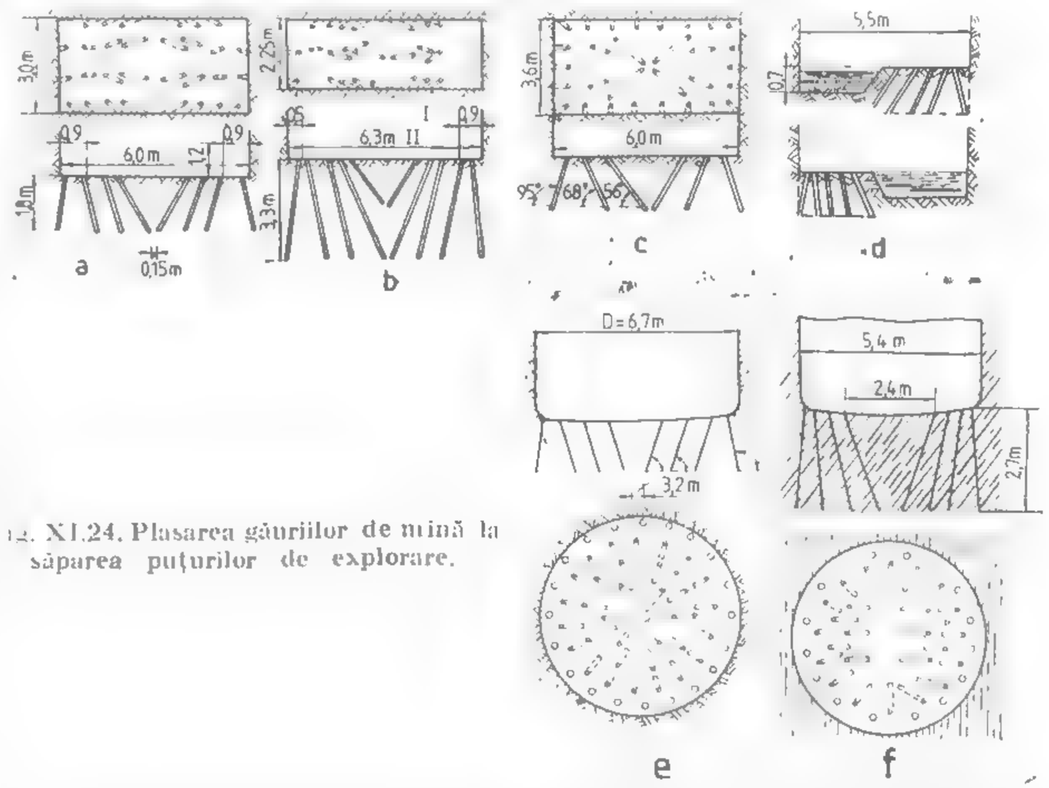


Fig. XI.24. Plasarea găurilor de mină la săparea puțurilor de explorare.

Ca și în cazul galeriilor, se folosesc găuri: de simbure, de lărgire și de profilare.

Schemele cele mai obișnuite de plasare a găurilor de simbure la săparea puțurilor dreptunghiulare sînt: simbure în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, *a*) în cazul rocilor de tărie mare și medie, simburele în formă de *pană centrală dublă* (fig. XI.24, *b*) utilizat în roci foarte tari, simburele în formă de *piramidă centrală* (fig. XI.24, *c*) folosit în roci tari și simburele în formă de *pană laterală* (fig. XI.24, *d*) folosit în roci sistoase.

La săparea puțurilor circulare, găurile se plasează în mai multe cercuri concentrice avînd înclinări diferite (fig. XI.24, *e*); în cazul rocilor șistoase se obțin rezultate bune utilizînd simburele în formă de *pană centrală* (fig. XI.24, *f*).

Adîncimea găurilor este în mod obișnuit de 1,5—2 m. Utilajele de perforare a găurilor constau din perforatoare pneumatice, furtunuri, sfredele și accesorii.

Evacuarea rocii rezultată în urma împușcării se face cu chibla care se încarcă cu ajutorul graifărului (fig.XI.25).

Pentru aerisirea frontului de lucru în timpul săpării se folosesc două sisteme de aeraj, ca și în cazul săpării galeriilor: aerajul aspirant și aerajul refulant.

Aerajul refulant este indicat datorită avantajelor pe care le prezintă față de sistemul aspirant, și anume: favorizează circulația normală pe puț a gazelor de explozie, ajută amestecarea mai intensă a gazelor nocive și evacuarea mai bună a aerului viciat, introduce în puț aer uscat. Distanța (l) de la tuburile de aeraj pînă la frontul de lucru se determină cu relațiile:

— pentru aerajul aspirant

$$l = 3\sqrt{S} \quad [\text{m}];$$

— pentru aerajul refulant

$$l = 6\sqrt{S} \quad [\text{m}]$$

în care S este secțiunea de săpare a puțului, în m².

Instalația de aeraj cuprinde: ventilatorul, tuburile de aeraj și ușile care acoperă gura puțului. Ventilatoarele sînt tubulare și sînt acționate de un motor electric de 7,5 kW. Tuburile de aeraj sînt din tablă zincată cu diametrul de 300—400 mm și lungimea de 2 m, pentru îmbinare fiind prevăzute cu fanșe fixe. Instalația de producere și transport a aerului comprimat cuprinde compresoarele, rezervoarele-tampon, conductele de aer comprimat și accesorii.

Instalația de evacuare a apei constă din una sau două pompe cu piston — acționate pneumatic, sau centrifugale — acționate electric.

Susținerea puțurilor de explorare. La adîncimi care nu depășesc 40—50 m, în cazul rocilor tari și foarte tari, puțurile nu se susțin, însă se prevăd cu cadre pentru compartimentare și amenajare cu poduri și scări de circulație. Aceste cadre se așază la intervale de 2—6 m; grinzile (tropanul) se încastrează în pereții puțului.

În roci semitari puțurile se susțin cu cadre de lemn rotund sau ecarisat cu diametrul de 15—25 cm, îmbinate în prag drept sau în coadă de rîndunică și așezate în cîmpuri, la intervale de 0,5—1,5 m. Între două cadre, la colțuri, se așază stîlpi (popi). În cazul presiunilor mari, cadrele de susținere se așază în desiș, adică unul peste altul și se sprijină la anumite intervale pe tropane (cadrul purtător).

Susținerea în lemn se execută în mod obișnuit pe tronsoane, concomitent cu săparea, după ce puțul a fost săpat 2—6 m.

Viteza de execuție a susținerii în desiș este de 3—4 m/24 ore, iar în cîmpuri de 4—6 m/24 ore.

În timpul așezării cadrelor se face verificarea orizontabilității cadrelor cu ajutorul echerului cu fir cu plumb sau cu nivela.

Verificarea verticalității se face cu patru fire cu plumb suspendate în colțurile puțurilor. Pe măsura adîncirii puțului se montează și ghidajele. Acestea se fac din grinzi de lemn de brad sau pin, lungi de 4—8 m, cu secțiunea de 10 × 10 cm sau 15 × 20 cm.

Susținerea puțurilor de explorare care depășesc 40—50 m adîncime se face în beton, în sens descendent, în tronsoane de cîte 7 m, adică la nivelul unui picior de

sprijin și se execută concomitent cu săparea puțului, cu ajutorul cofrajelor glisante metalice (fig. XI.25). Susținerea se montează în imediata apropiere a frontului de lucru, pe tronsoane scurte, sensul de betonare a puțului este descendent, iar fiecare tronson se betonează ascendent, tehnologia operațiilor executîndu-se în ordine succesivă. Operația de betonare se desfășoară sub protecția unui pod.

Lucrările de amenajare cu moaze a puțului se fac de la nivelul platformei superioare a podului, pe platforma inferioară fiind așezate troliile de suspendare a graifărului de încărcare a materialului rezultat de la împușcare. Ambele platforme sînt prevăzute cu orificii tubate pentru trecerea chiblelor, a conductei de aeraj, a țevilor de aer comprimat și a conductelor prin care se introduce betonul.

Betonul se prepară la gura puțului, într-o instalație care se compune dintr-un siloz pentru pietriș și unul pentru nisip, betoniere, dozatoare, un elevator și o bandă pentru transportul cimentului cu clorură de calciu dizolvată. Dozarea materialelor pentru prepararea betonului se face volumetric.

Susținerea puțurilor în beton realizată cu ajutorul cofrajelor glisante are avantajul obținerii unor viteze mari de lucru, și reducerii substanțiale a costurilor.

Documentarea geologică se face ca și în cazul puțurilor de mină, cu mențiunea că se insistă foarte mult pe probare, în vederea stabilirii caracteristicilor fizico-mecanice ale rocilor în care se sapă.

Un puț de explorare poate deveni în fază de exploatare puț de aeraj, de rambleu sau chiar de extracție.

În cazurile cînd nu pot fi folosite în faza următoare a exploatării, puțurile se părăsesc rambleindu-se, după recuperarea materialelor de susținere și a utilajelor cu care au fost dotate.

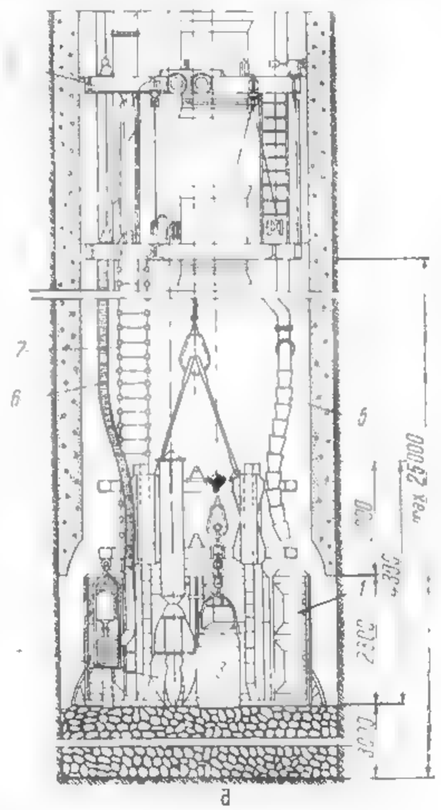


Fig. XI.25. Betonarea puțului concomitent cu săparea:

1 — cofra; glisant; *2* — pod de protecție; *3* — chiblă; *4* — graifăr; *5* — conductă flexibilă; *6* — furtun de aer comprimat; *7* — scară mobilă; *8* — conductă de aeraj.

2.2.4. GALERII DE EXPLORARE

Sînt lucrări miniere orizontale săpate în zăcămînt sau în rocile înconjurătoare, plecînd de la suprafață, sau din subteran, de la o altă lucrare de explorare. Din ele se sapă lucrările miniere de explorare pe înclinarea zăcămîntului — suitori, coborîtori, plane înclinate.

Obiective urmărite. Prin galeriile de explorare se urmărește cercetarea zăcămîntului pe direcție sau transversal pe direcția acestuia, pentru a determina: elementele

lui geometrice și de poziție și variațiile acestora, calitățile substanței minerale utile, accidentele tectonice și natura rocilor înconjurătoare.

Amplasarea galeriilor de explorare. Cînd zăcămîntul este localizat în terenuri accidentate, explorarea lui se face prin galerii, urmărindu-se cercetarea lui la diferite nivele.

După direcția față de zăcămîntul urmărit, galerile de explorare se împart în: galerii *transversale* și galerii *direcționale*.

Atît galeriile transversale cît și cele direcționale pot fi executate de la zi, sau din alte lucrări subterane (puțuri, plane înclinate etc.).

Galeriile transversale se execută de obicei în steril și au ca scop intersectarea corpurilor de minereu. Galeriile direcționale se execută de obicei în zăcămînt și urmăresc deschiderea acestuia pe direcție (fig. XI.26).

Galeriile transversale sau direcționale, cînd sînt începute la zi, poartă denumirea de *galerii de coastă*.

În cazul galeriilor direcționale, cînd grosimea zăcămîntului este mai mare decît secțiunea galeriei, aceasta se sapă pe lîngă peretele cel mai stabil, de obicei în culcușul zăcămîntului. Cînd zăcămîntul este neregulat, sau are infiltrații puternice de apă, galeria direcțională se execută la o oarecare distanță de zăcămînt, iar din

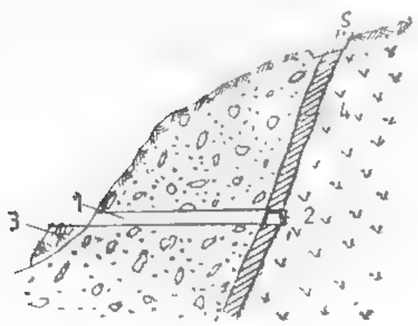


Fig. XI.26. Explorarea unui zăcămînt de formă tubulară, situat într-un teren accidentat, prin galerii:

1 — galerie transversală de coastă; *2* — galerie direcțională în zăcămînt; *3* — haldă; *4* — filon; *5* — șanț de prospecțiune sau de explorare

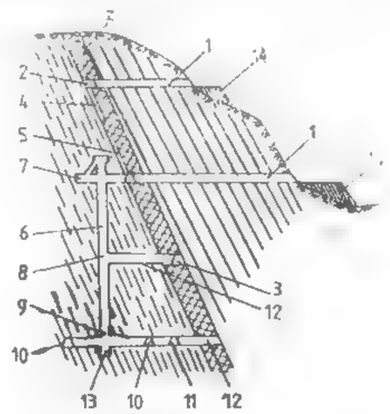


Fig. XI.27. Explorarea unui zăcămînt de formă tabulară prin lucrări miniere combinate:

Z — zăcămînt; *1* — galerie de coastă; *2* — direcțională pe culcuș; *3* — direcțională de acoperiș; *4* — coborîtoare; *5* — suitoare; *6* — puț orb; *7* — camera troliului; *8* — rampă simplă; *9* — rampă dublă; *10* — galerie de ocol; *11* — direcțională în culcuș; *12* — transversală principală; *13* — jomp *14* — haldă.

aceasta la echidistanța de 25—50 m, din loc în loc, se sapă galerii transversale scurte (nișe), care traversează zăcămîntul pe grosime.

Pentru cercetarea zăcămîntului în adîncime, cînd acesta nu mai poate fi deschis la nivelele respective prin galerii de coastă, se sapă un puț orb sau de la zi de explorare, în culcușul zăcămîntului, din care se continuă explorarea acestuia prin galerii transversale și direcționale (fig. XI.27).

Forma și dimensiunile galeriilor de explorare. Profilul galeriilor poate să fie: trapezoidal (fig. XI.28), boltit, sub formă de potcoavă, circular, în funcție de natura rocilor și felul susținerii.

După secțiune (v. tabelul XI.2), galeriile de explorare se pot împărți în trei categorii:

- galerii cu secțiune mică, de 2,30—5,60 m²

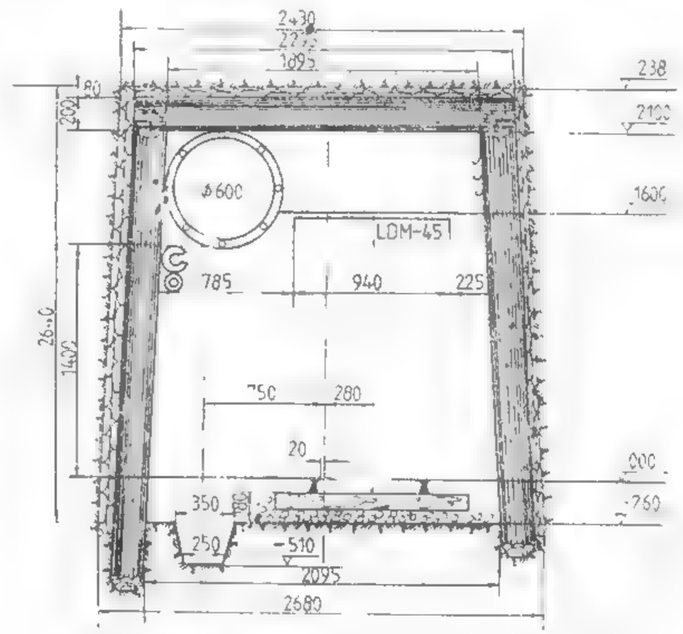


Fig. XI.28. Galerie de explorare G4I. — 6,80 m², cu profil trapezoidal, susținută în lemn

- galerii cu secțiune mijlocie, de 6,20—9,30 m².
- galerii cu secțiune mare (duble), de 9,40—18,30 m²

Galeriile din ultimele două categorii se execută în cazurile cînd acestea au lungimi de peste 500 m și se prevede folosirea lor și în lucrările de exploatare.

După natura formațiunilor geologice în care se sapă, galeriile pot fi susținute și nesusținute.

Alegerea profilului de săpare a galeriilor de explorare. Factorii principali care determină aegerea profilului de săpare a unei galerii sînt

— volumul transportului;

— gabaritul (dimensiunile maxime) locomotivelor și al vagonetelor cu care urmează să se facă transportul.

- aerajul lucrărilor miniere;
- modul de susținere;

gabaritul celor mai mari piese din mașinile ce urmează a se monta în subteran;

— viteza de săpare a galeriei respective

— normele de tehnica securității muncii.

Calculul secțiunilor transversale ale galeriilor se face în funcție de forma profilului.

Pentru galerii de explorare s-au elaborat *proiecte tip* care se deosebesc prin forma, mărimea secțiuni și felul susținerii galeriilor etc. Aceste proiecte tip prezintă o mare importanță, prin faptul că în prezent toate lucrările miniere respectă aceleași principii, ceea ce face posibilă standardizarea mijloacelor de transport; experiența obținută la un șantier sau la o mină, la săparea galeriilor, poate fi extinsă la toate celelalte etc.

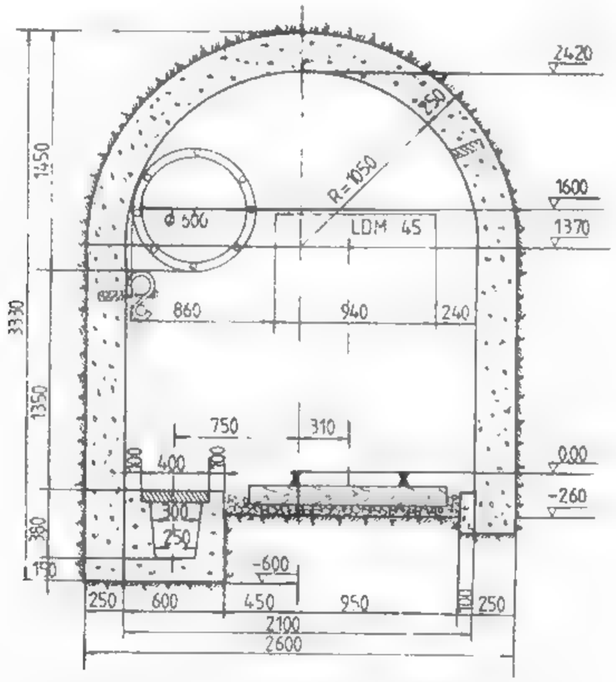


Fig. XI.29. Galerie de explorare (G5B—7,30 m², cu profil boltit, susținută în beton.

Din examinarea profilelor tip (fig. XI.28, XI.29 și XI.30) se constată următoarele elemente comune:

Ecartamentul prevăzut pentru toate galeriile este de 600 mm, 630 mm și 750 mm, în funcție de capacitatea vagonetelor și a locomotivelor.

— Distanța între vagonete sau locomotivă și peretele galeriei pe partea unde nu circulă personalul este de 200 mm la galeriile nesusținute și la cele susținute cu bolțari sau în beton. În galeriile susținute în lemn această distanță este de 250 mm.

— Distanța dintre locomotivă și perete, în partea galeriei pe unde circulă personal, este de 600 mm pentru galeriile nesusținute sau zidite, prin care circulă trenuri cu o viteză mai mică de 6 km/h, și de 750 mm, pentru galeriile susținute în lemn. Pentru galeriile principale de transport, unde trenurile circulă cu viteze mai mari de 6 km/h, această distanță este de 800 mm.

— Înălțimea minimă admisă a unei galerii, de la coroana șinei la tavan, este de 2 000 mm la galeriile simple, susținute cu lemn, pe care nu se face transportul cu locomotive electrice cu troleu. Dacă transportul se face cu locomotive electrice cu troleu, înălțimea minimă de la coroana șinei la troleu este de 2 200 mm.

— Înclinarea pereților galeriilor cu profil trapezoidal este de 125 mm/m.

— Panta galeriilor poate varia între 2 și 6%. Dacă pe aceeași galerie se face și transport de rambleu în sens invers transportului de minereu sau de cărbuni, panta nu trebuie să depășească 2%. În ceea ce privește canalele pentru evacuarea apelor, este necesar ca viteza apei să nu fie sub 0,25—0,50 m/s și să nu depășească 1,8—

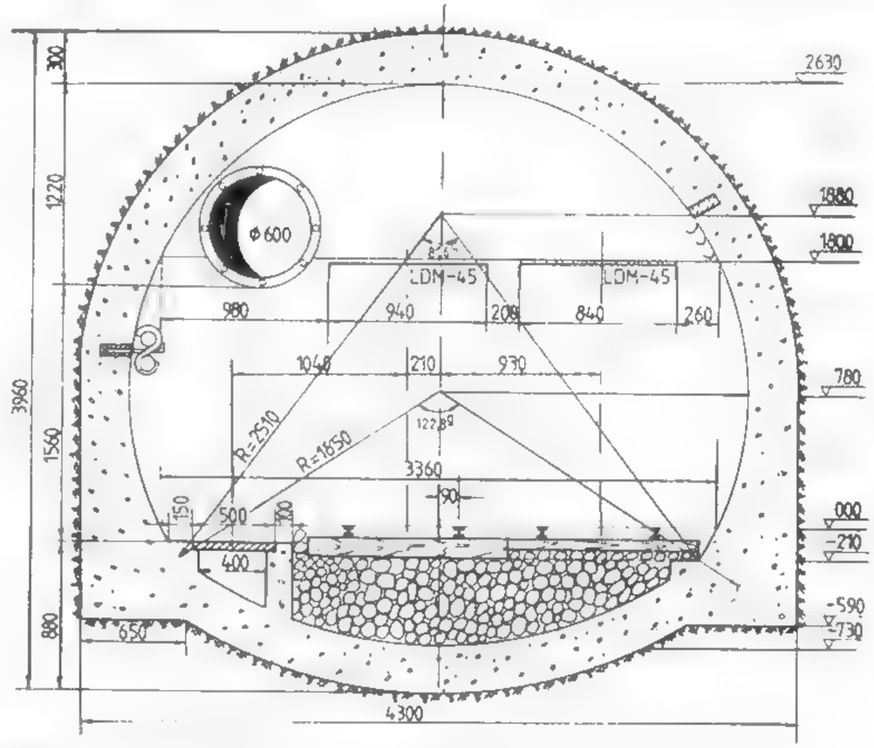


Fig. XI.30. Galerie de explorare dublă G7Bv—14,00 m², cu vatră închisă, susținută în beton.

2,5 m/s în roci moi și de tărie medie și 3,5—4,5 m/s în roci tari. Înclinarea pereților canalului poate varia între 1/2 și 1/4, după tăria rocilor.

Săparea galeriilor se face prin *metode obișnuite*, cînd rocile sînt stabile și nu există o afluență prea mare de apă, și prin metode *speciale*, în cazul rocilor nestabile, slabe și cu afluență mare de apă.

Săparea și susținerea galeriilor de explorare cu metode obișnuite. Operațiile principale ale procesului de săpare a unei galerii de explorare sînt:

— excavarea rocilor;

— încărcarea și evacuarea materialului extras;

— susținerea lucrării, cînd natura rocilor în care se sapă necesită susținere.

Operațiile secundare ce survin în procesul săpării constau în montarea conductelor de aeraj a conductelor și cablurilor electrice pentru alimentarea utilajelor din frontul de lucru cu apă, aer comprimat și energie electrică, probarea frontului de lucru, cartarea geologică și ridicarea topografică a lucrării etc.

Săparea. Executarea săpării oricărei lucrări miniere se face pe baza unui *proiect de explorare* care trebuie să prevadă în mod obligatoriu: necesitatea lucrării miniere respective, amplasamentul ei în funcție de scopul urmărit și de condițiile locale, dimensiunile lucrării (formă, secțiune, lungime), alegerea procedeului de săpare și de evacuare, cu indicarea și justificarea elementelor de săpare ca: profil de săpare, alegerea utilajului și stabilirea necesarului de utilaj, organizarea desfășurării procesului săpării (componența echipei de lucru, graficele de lucru etc).

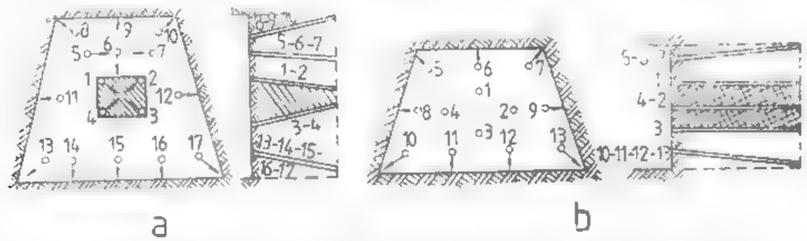


Fig. XI.31. Scheme de amplasare a găurilor în frontul galeriei
a — cu simbure piramidal; *b* — cu simbure prismatic

Viteza de înaintare, consumul specific, ca și alți indicatori sînt foarte mult influențați de modul cum sînt plasate găurile în front, de distanța dintre ele și de înclinarea lor.

Găurile folosite pentru realizarea unui avans al frontului de săpare al unei galerii de explorare sînt de trei feluri:

găuri de simbure sau de *degajare*, care se impușcă în primul rînd și au rolul de a produce o suprafață liberă (în fig. XI.31 *a* și *b*, găurile numerotate: *1, 2, 3, 4*);

găuri de lărgire care explodează după găurile de simbure și produc ruperea masivă în front, folosind suprafețele libere create de găurile de simbure (în fig. XI.31, *a*, găurile numerotate: *5, 6, 7*);

găuri de profilare, care se impușcă la urmă și au rolul de a da lucrării miniere forma dorită (în fig. XI.31, *a*, găurile numerotate: *8...17*).

După direcția găurilor de mină față de suprafața frontului de săpare, se deosebesc trei tipuri principale de simburi de explodare folosiți la săparea galeriilor de explorare:

- *Simburi unilaterali.* Se caracterizează prin aceea că toate găurile de mină care conturează simburele au înclinarea în aceeași parte a frontului de săpare: lateral, spre tavan (superior) sau spre vatră (fig. XI.32).

Săparea cu simburi laterali se folosește în cazul rocilor stratificate cu înclinare mare și cînd lucrarea se execută de-a lungul contactului a două formațiuni geologice. Găurile sînt dirijate lateral, spre contactul dintre roci.

În celelalte cazuri se practică simburele unilateral superior, dacă stratificația înclină către sensul de săpare a lucrării, sau simburele unilateral inferior, cînd stratificația înclină spre frontul de lucru.

Simburi convergenți. La aceștia găurile se execută convergent, de regulă cu înclinarea spre axul longitudinal al lucrării miniere (fig. XI.33). Pot fi de mai multe feluri:

– simbure *piramidal* (fig. XI. 33, *a*), frecvent folosit în roci omogene și la galerii cu secțiune mică, sub 6 m²;

– simbure *pană verticală* (fig. XI 33, *b*), folosit la săparea galeriilor cu secțiune mai mare de 6 m².

– *Simburi cilindrici.* Găurile de mină se perforează perpendicular pe suprafața frontului și sînt paralele între ele. Dintre găurile perforate, unele nu se încarcă cu exploziv (fig. XI.34) fiind *găuri pasive*, ele avînd rolul de a crea suprafețe libere pentru celelalte găuri.

După aranjamentul găurilor active și pasive, se folosesc

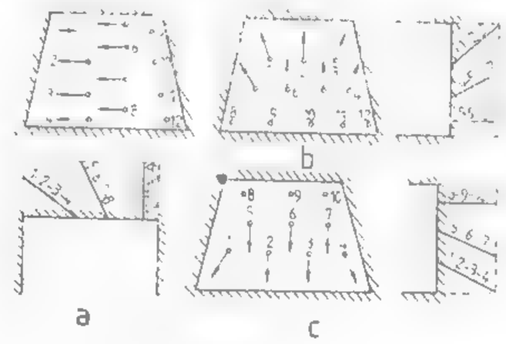


Fig. XI.32. Simburi unilaterali:
a — simbure lateral; *b* — simbure unilateral superior; *c* — simbure unilateral inferior.

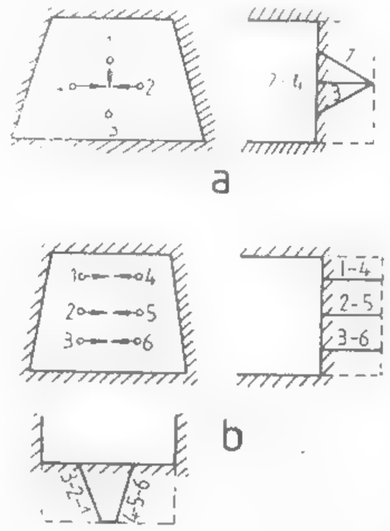


Fig. XI.33. Simburi convergenți:
a — simbure piramidal; *b* — simbure pană verticală.

– simburi *trifoi* (fig. XI.34, *a*), cu trei sau patru găuri active și una pasivă (se aplică la săparea în roci plastice sau în gresii);

– simbure *prismă* (fig. XI.34, *b*) care constă din șiruri de găuri active, alternînd cu găuri pasive, sau din găuri active și pasive ce alternează pe același șir (se aplică la săparea în roci tari și foarte tari).

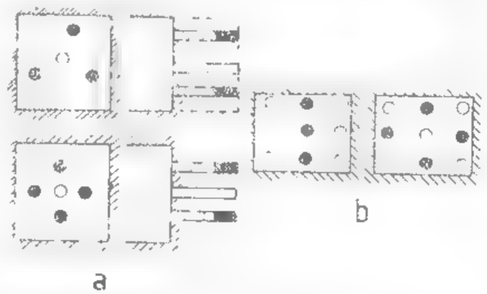


Fig. XI.34. Simburi cilindrici.

Evacuarea materialului din frontul de lucru constă din sfărîmarea bucăților mari de rocă, încărcarea materialului în vagonete și transportul lui pînă la puț, pînă la galeria principală de transport sau direct pînă la gura galeriei și de aici la haldă. Încărcarea din frontul de lucru în vagonete se face manual sau mecanic.

La încărcarea manuală productivitatea este influențată de înălțimea de încărcare de distanța de aruncare cu lopata, de starea vetrei, de starea materialului împușcat etc.

Dacă pe vatră se așază foi de tablă de oțel (groase de 3–6 mm) înainte de împușcare, productivitatea de încărcare crește cu 25–20% față de încărcarea de pe vatra obișnuită.

Productivitatea la încărcare variază între 3 și 5 m³ pe schimbul de 8 ore.

Încărcarea mecanică se poate face cu screperul sau cu mașini de încărcat.

Încărcarea materialului cu screperul se poate aplica chiar și în galeriile cu profil mic, de 3–4 m², realizîndu-se o productivitate medie de 4–5 m³/h. Screperul poate fi folosit cu succes cînd materialul de încărcat se prezintă sub formă de bucăți mai mari.

Încărcarea cu mașini de încărcat este frecvent folosită pe șantierele de explorare (v. tabelul XI.2). Se folosesc, în mod obișnuit, mașinile cu încărcare discontinuă care constau în principiu din: căruciorul cu roți, care circulă pe șenile; platforma așezată pe o placă turnantă, care permite rotirea mașinii; culisa basculantă cu lingură; dispozitivul de acționare compus din motoare pneumatice sau dintr-un singur motor electric.

Aceste mașini se întrebuințează la lucrările miniere ce se sapă în roci tari. Ele pot încărca bucăți de rocă de 300–350 mm.

Pentru a asigura evacuarea materialului din frontul de lucru, este necesar ca distanța de la front pînă la linia ferată să fie cît mai mică.

Încărcarea unui vagonet cu ajutorul mașinii de încărcat durează 1–3 min, iar îndepărtarea manuală a vagonetului plin și aducerea altui vagonet gol poate dura un timp mai mare. Din această cauză manevrarea vagonetelor pline și a celor goale trebuie făcută repede, prin folosirea anumitor dispozitive și prin organizarea perfectă a lucrărilor, aplicînd diverse scheme de manevrare a vagonetelor.

O altă posibilitate de scurtare a timpului de manevră a vagonetelor, atunci cînd se folosește mașina de încărcat, este de a instala, după mașina de încărcat, un transportor mobil cu raclete. Aceasta permite introducerea sub el a întregului tren gol. În acest scop, transportorul este fixat la înălțimea potrivită, materialul ridicat de mașina de încărcat cade pe transportor, iar trenul de vagonete este tras de locomotivă pe măsură ce vagonetele sînt pline.

Condițiile principale de protecție a muncii care trebuie îndeplinite la săparea lucrărilor miniere sînt

- asigurarea unui aeraj cît mai bun;
- reducerea conținutului de praf de siliciu;
- asigurarea unui iluminat cît mai bun.

Aerajul frontului de lucru, în timpul săpării galeriei de explorare, se face cu instalații de aeraj secundar formate din tuburi de aeraj și ventilatoare axiale montate în coloane de tuburi.

Tuburile sînt confecționate din tablă zincată, pînză cauciucată sau din material plastic, cu diametre de 300 mm sau mai mari. Se folosesc trei sisteme de aeraj secundar: *aspirant, refulant* și *mixt* (fig. XI.35).

Cel mai utilizat este sistemul de *aeraj aspirant*, care prezintă avantajul captării gazelor din front și împiedică răspîndirea acestora pe traseul galeriei. În galeriile de explorare de lungime mare, în coloana de tuburi de aeraj se montează o serie de ventilatoare. Al doilea ventilator se așază la o distanță de 0,3–0,4 din lungimea de aspirație l a primului ventilator (cel mai apropiat de front).

Debitul de aer necesar aerisirii frontului de lucru în cazul aerajului aspirant, refulant și mixt se determină cu relațiile:

— pentru aerajul aspirant

$$Q_a = 0{,}6\,\frac{Sl}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}} = 0{,}6\,\frac{V_1}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}}\ [\mathrm{m^3/min}];$$

— pentru aerajul refulant

$$Q_r = 5\,\frac{SH}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}} = 5\,\frac{V_2}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}}\ [\mathrm{m^3/min}];$$

— pentru aerajul mixt

$$Q_m = 0{,}5\,\frac{V_3}{t}\sqrt{\frac{C_1}{C}}\ [\mathrm{m^3/min}],$$

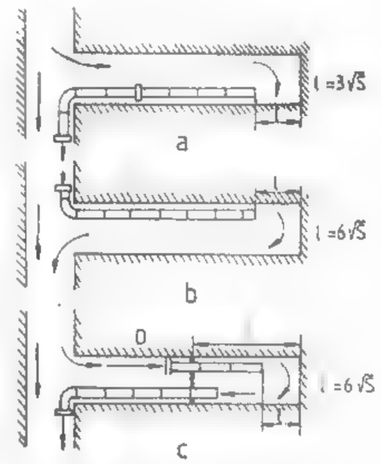


Fig. XI.35. Scheme de aeraj la săparea galeriilor:
a — aspirant; *b* — refulant; *c* — combinat

în care: V_1 este volumul zonei inițiale a gazelor toxice, m³;
V_2 — volumul galeriei (puțului) în săpare, m³;
V_3 — volumul galeriei de la digul D la frontul de săpare, m³;
t — durata aerajului după explozie, 20–30 min;
S — aria transversală a galeriei, m²;
C_1 — concentrația inițială de gaze toxice, recalculate în CO convențional, %;
C — concentrația maximă de CO convențional admis în aerajul ce iese din galerie (0,02%).

Eliminarea prafului din frontul de lucru se realizează prin perforare, în mod obligatoriu numai cu injecție de apă.

În locurile de muncă cu praf de silice trebuie aplicat aerajul aspirant.

Intensitatea luminoasă a lămpii în locul de muncă trebuie să fie de 15–25 lx.

Susținerea se face cu lemn (v. fig. XI.28), iar în cazul presiunilor mari și cînd galeriile au o durată mai mare de existență se pot folosi pentru susținere beton (v. fig. XI.29 și XI.30), zidărie, prefabricate de beton, susțineri metalice sau o combinație a acestora.

Susținerea în lemn Lemnul este folosit și în prezent pe scară largă la susținerea galeriilor de explorare de scurtă durată. Acest fapt se datorează calităților favorabile ale lemnului, ca material de susținere: se fasonează ușor, nu se rupe brusc, avînd o mare elasticitate, iar costul inițial al susținerii în lemn este mai redus decît al susținerii în beton sau al celei metalice. Lemnul însă putrezește ușor în atmosfera din subteran, se recuperează greu și nu mai poate fi refolosit în aceleași condiții.

Forma cadrelor întrebuințate la susținerea galeriilor diferă după mărimea și orientarea presiunii. Se întrebuințează *cadre simple*, cînd unei laturi a profilului lucrării miniere îi corespunde o grindă sau un stîlp, și *cadre complexe*, cînd susținerea tavanului, a vetrei sau a pereților se execută din mai multe elemente poligonale.

După cum perimetrul lucrării este susținut integral sau nu, se deosebesc cadre *închise* și *cadre deschise*.

Dintre cadrele simple, cel mai folosit este *cadrul trapezoidal deschis* (v. fig. XI.25), compus dintr-o grindă și doi stîlpi uniform înclinați. Dacă sînt presiuni și din vatră (talpă), se așază și aici o grindă, cadrul devenind un *cadru trapezoidal închis* (fig. XI.36). În cazul presiunilor importante, diferitele elemente ale cadrelor se întăresc cu *contrafișe* sau cu *grinzi suplimentare* (*juguri*), așezate după direcția lucrării (fig. XI.37).

În funcție de rezistența rocilor din acoperiș sau pereți se folosesc *cadre incomplete* (fig. XI.38).

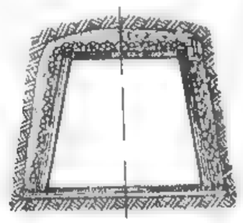


Fig. XI.36. Cadru trapezoidal închis.

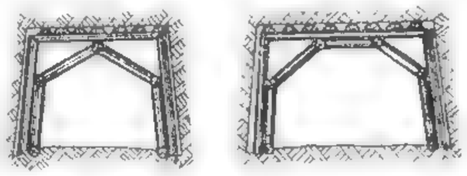


Fig. XI. 37. Cadre trapezoidale întărite.

În cazul presiunilor mai mari, care acționează din toate părțile, se întrebuințează cadrele poligonale (cu 5, cu 6 sau cu 8 laturi).

Îmbinarea bună a elementelor cadrului constituie o condiție esențială a calității susținerii. Se întrebuințează în mod curent *îmbinarea în dinte* sau *prag* (fig. XI.39, *a*, *b*, *c*) și *îmbinarea în scobitură* (*șor* — fig. XI. 39, *d*). Îmbinarea în dinte se folosește atunci cînd există și presiuni laterale, iar îmbinarea în scobitură se folosește în cazul presiunilor mari de tavan.

La îmbinarea contrafișelor cu grinda și cu stîlpii se folosesc și scoabe de otel care întăresc îmbinarea.

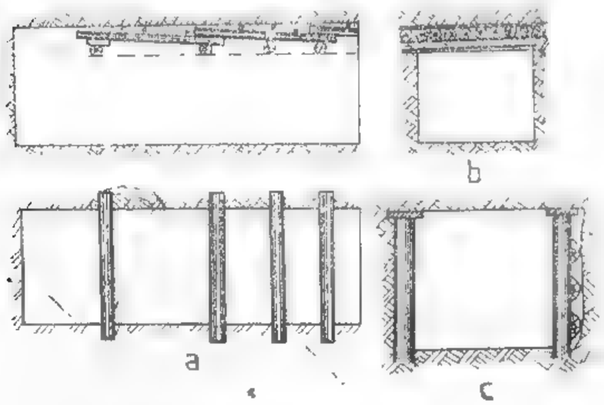


Fig. XI.38. Cadre incomplete: *a* și *b* — numai grinzi; *c* — numai stîlpi.

Cadrele descrise mai sus sînt *cadre rigide*, adică nu cedează decît foarte puțin la presiuni mari.

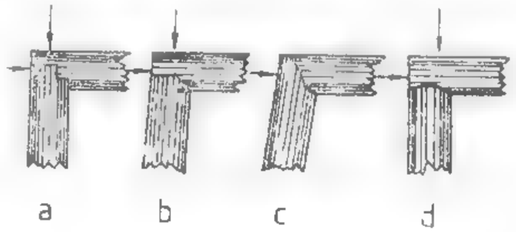
Pentru a evita distrugerea cadrelor în perioada de exercitare a presiunii primare, se construiesc *cadre elastice*. Acestea permit deformări mai mari ale profilului lucrării, fără a se distruge elementele cadrului, datorită ascuțirii mai pronunțate a capetelor stîlpilor.

Susținerea de zidărie a lucrărilor miniere de explorare se utilizează în cazul unor presiuni mari, care distrug susținerea în lemn.

Ca materiale pentru susținerea în zidărie se întrebuințează *piatra naturală cioplită* și *betonul* (*turnat sau sub formă de prefabricate*).

Pentru zidăria de piatră se folosesc pietre de construcții rezistente. În general se întrebuințează andezitul, granitul, bazaltul etc., și mai rar calcarul compact.

Fig. XI.39. Îmbinarea între grinzi și stîlpi.



Blocurile de piatră se fasonează în carieră pentru a evita transporturile inutile și pentru că în carieră munca se poate organiza mai bine, realizîndu-se o productivitate mai ridicată decît în subteran. Blocurile pentru zidăria pereților se cioplesc în formă de paralelipiped, iar cele pentru boltă în formă de pană.

– Betonul este un amestec de ciment, pietriș, nisip și apă, în anumite proporții. Pietrișul și nisipul nu suferă nici o transformare chimică și au rolul de umplutură în masa betonului.

Rezistența la compresiune a betonului (marca) depinde în primul rînd de cantitatea de ciment introdusă la 1 m³ de beton și de cantitatea de apă liberă neabsorbită a materialului inert.

Această rezistență (R_B) se calculează cu formula:

$$R_B = 0{,}5\, R_c \left(\frac{c}{a} - 0{,}5 \right) \text{ daN/cm}^2 ,$$

în care: R_c este rezistența la compresiune a cimentului, daN/cm²
c — cantitatea de ciment, kg;
a — cantitatea de apă liberă, l.

Calitatea betonului depinde și de nisipul și pietrișul folosit. Cel mai bun nisip este cel cuarțos, cu grăunți de 0,15—0,5 mm diametru. Este bine ca pietrișul să aibă muchii și colțuri neregulate, cum este cel provenit prin concasare.

Cantitatea de apă necesară variază între 78 și 85 l apă/m³ pentru beton uscat și 90—120 l apă/m³ pentru beton plastic.

– Blocurile de beton prefabricate, denumite *betonite* sau *bolțari*, se întrebuințează pe scară din ce în ce mai largă, prezentînd o serie de avantaje importante: se fabrică la suprafață, zidirea este simplă și se poate realiza repede. În majoritatea cazurilor, blocurile de beton au formă de pană simplă. Se construiesc însă și betonite cu forme speciale.

Betonitele se fabrică din beton de diferite mărci, după mărimea presiunilor. În unele cazuri se folosesc blocuri de beton armat.

Susținerea metalică a galeriilor de explorare se folosește în cazul unei durate de serviciu mai mare a lucrării miniere, atunci cînd presiunea este și ea mai mare. Deși necesită cheltuieli inițiale mai mari, susținerea metalică are multe avantaje în

comparație cu alte moduri de susținere, și în special față de susținerea în lemn: ocupă spațiu mic, nu arde, are durată mare de serviciu, se poate recupera etc.

După modul de comportare la presiuni a susținerii metalice se disting susțineri *rigide, semirigide, elastice.*

Ca formă, sistemele au evoluat, folosindu-se la început cadrele metalice rigide trapezoidale, după care s-a introdus susținerea cu cadre metalice în arc sau susținere cu cintre metalice.

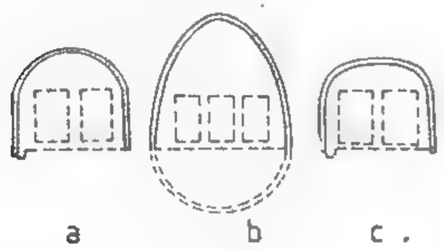


Fig. XI.40. Cintre rigide:
a — în arc de cerc; *b* — în ogivă; *c* — în boltă de mică înălțime elastică

Susținerea cu *cintre metalice* a înlocuit aproape complet susținerea cu cadre trapezoidale.

O cintră metalică este formată din mai multe elemente asamblate între ele prin dispozitive speciale, alcătuind astfel un cadru de susținere în formă de arc. Pentru presiuni normale și uniform repartizate, forma ideală o constituie cintra circulară închisă.

La susținerea cu cintre metalice, modul de susținere poate să fie *rigid*, folosind cintre rigide, sau *elastic*, folosind cintre culisante.

— *Susținerea cu cintre rigide.* În galeriile sau planele înclinate în care nu sînt mișcări de terenuri, susținerea sub formă de arc, formată din cintre rigide (fig. XI.40) care sub influența presiunii rocilor nu își modifică forma, rezistă mult mai bine decît un cadru metalic trapezoidal.

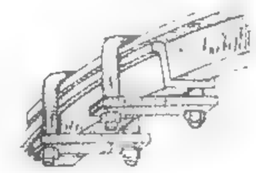
Elementele unei cintre rigide se construiesc din șine vechi sau din profile de oțel dublu T. Șinele vechi se așază cu coroana în afară, astfel ca talpa șinelor să susțină bandajele. Îmbinarea se face cu eclise și cu șuruburi. Pentru secțiuni mici de galerie se adoptă cintre formate din două elemente îmbinate la partea de sus a bolții. Pentru secțiuni mari, elementele cintrei sînt de lungimi aproape egale. Pentru asigurarea stabilității susținerii, între cadrele metalice se bat *strîngători* orizontale de lemn rotund de stejar și, în unele cazuri, cintrele se reunesc prin bucăți de oțel rotund (oțel beton) sudate, formînd astfel un grilaj care susține bandajele dintre pereții galeriei și cadrele metalice.

— *Susținerea cu cadre culisante.* Cintrele culisante (fig. XI.41) asigură o susținere metalică elastică, adică o susținere care permite, sub influența presiunii rocilor să se modifice dimensiunile secțiunii transversale a lucrării miniere și o deformare a elementelor pînă la o anumită limită, fără ca cintrele să-și piardă capacitatea lor portantă.

Pentru asigurarea elasticității se folosesc îmbinări între elemente care să permită o culisare a acestora. La majoritatea tipurilor, legătura culisantă se realizează prin îmbucarea a două elemente ale cintrei, solidarizate cu ajutorul unor brățări prevăzute cu șuruburi la capete (fig. XI.41, *a*).

O cintră simplă foarte răspîndită este tipul *Toussaint-Heintzmann* sau *TH*, cu legături culisante (fig. XI.42).

Cele mai folosite sînt profilele TH de 21 kg/m. Modul cel mai obișnuit de cintră culisantă TH este cel în potcoavă, compus din trei bucăți: o coroană la partea superioară și două picioare laterale, care se petrec peste coroană cu 40 cm. În cazul umflării vetrei se folosește cintra circulară compusă din patru bucăți, adăugîndu-se o talpă cu legături identice. În cazuri rare se folosesc și cintre formate din cinci elemente. Susținerea cu cadre metalice inelare cu patru sau cinci elemente se folosește, în general, atunci cînd există presiuni mari în toate direcțiile.



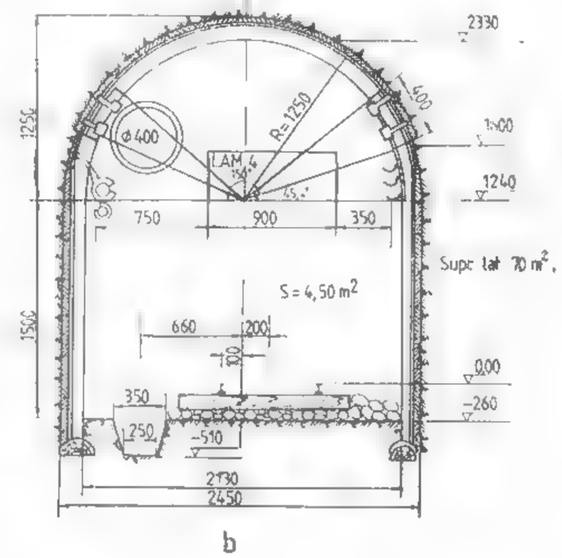


Fig. XI.41. Susținere elastică cu cadre culisante:
a — brățară pentru îmbinarea cintrelor metalice
b — galerie G4M — 6,80 m², susținută cu cintre culisante.

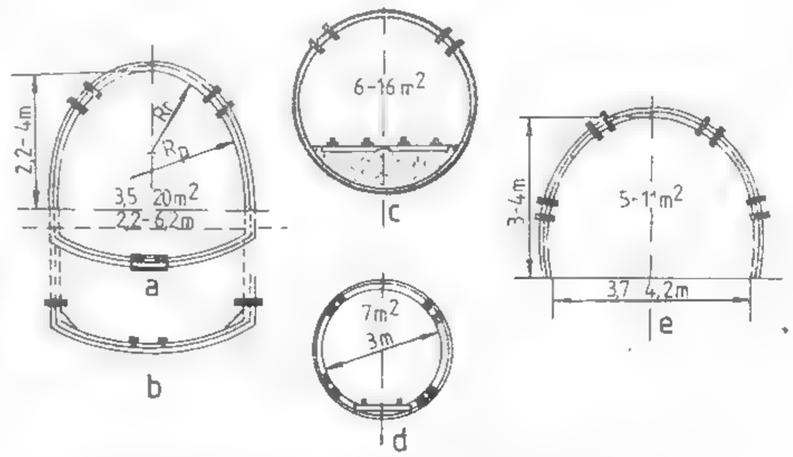


Fig. XI.42. Cintre Toussaint — Heintzmann:
a — cu talpă articulată; *b* — cu talpă încastrată; *c* — circulare pentru cale dublă; *d* — circulare pentru cale simplă; *e* — din cinci elemente.

Susținerea ancorată. În ultimii ani se mai aplică și susținerea ancorată, la susținerea tavanului și pereților galeriilor.

Metoda constă în forarea unor găuri de mină în tavan, în care se introduc tije metalice ce se fixează în fundul găurii cu ajutorul unor dispozitive, iar la capătul rămas afară se fixează o placă, cu ajutorul unei piulițe (fig. XI.43).

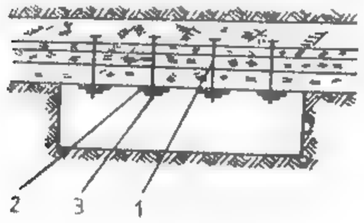


Fig. XI.43. Schema susținerii ancorate:
1 — tija ancorei; 2 — placă metalică; 3 — piuliță.

Dacă în tavan sînt roci stratificate care prezintă planuri de șistozitate de minimă rezistență, cînd nu sînt susținute, fiecare strat se încovoaie (sub acțiunea greutății), relativ independent de cele de deasupra lui. Strîngînd cu ajutorul ancorelor întregul pachet de strate, acestea nu mai pot acționa independent, fapt care împiedică surparea tavanului. Lungimea tijelor de ancorare variază între 1,5 și 3,0 m. Pe galerile cu durată lungă de utilizare se întrebuințează *ancore recuperabile*, adică ancore a căror dispozitiv de fixare constă dintr-un manșon cu zimți exteriori, care își mărește diametrul prin înșurubarea ancorei prevăzute cu o porțiune tronconică; la deșurubarea tijei aceasta rămîne fixată în gaura de mină. Pentru realizarea unei susțineri mai rezistente, pe pereții și tavanul lucrărilor miniere se poate aplica o plasă de sîrmă, simplă sau dublă, care se fixează cu ancore.

Torcretarea constă în depunerea unui strat de beton de 5—30 mm, pe pereții și tavanul galeriilor sau ale altor lucrări miniere. Se efectuează cu ajutorul unor mașini speciale care sînt acționate cu aer comprimat, la o presiune de 2—3,5 daN/cm².

Mașina se alimentează cu un amestec uscat de nisip și ciment, care se omogenizează și apoi este împins, cu ajutorul aerului comprimat, printr-o conductă de refulare, pînă la injectorul de beton. Aici se amestecă cu apă și este proiectat cu o viteză de 130—170 m/s.

Dozajul obișnuit este: 1 parte ciment și 3 părți nisip uscat (4—8% umiditate) și clasat la 5—7 mm, iar apa se adaugă în proporție de 10—20% din greutatea amestecului. Apa trebuie să aibă o presiune mai mare decît a aerului comprimat cu 0,75—1 daN/cm².

Betonul obținut prin torcretare, din cauza vitezei de proiectare, este compact și are o rezistență de compresiune de aproape două ori mai mare decît a betonului obișnuit. Acest beton aderă bine la zidărie veche, la beton vechi, la piatră și chiar la lemn.

În interiorul galeriei se montează calea ferată, conductele de aer comprimat și cablul electric.

Săparea galeriilor de explorare cu metode speciale. În roci dezagregate nestabile, curgătoare etc., săparea galeriilor se face prin metode speciale. În funcție de natura rocilor se aplică următoarele metode speciale:

Metoda de săpare cu palplanșe. Aceasta constă în baterea din aproape în aproape a unor palplanșe (frigări) între grinda ultimului cadru de susținere spre tavan și lateral. Palplanșele se bat unele lîngă altele și formează astfel o căptușeală protectoare la tavan și pereți. Pe măsură ce se bat palplanșele se evacuează și roca din frontul de lucru (fig. XI.44).

Metoda de săpare cu scut. Se aplică în cazul rocilor curgătoare, cînd apare necesitatea susținerii integrale a profilului galeriei: la tavan, pereți, vatră și în front. În felul acesta susținerea folosită are forma unui scut. Pentru extragerea rocii, în scut se fac ferestre care permit curgerea acesteia (fig. XI.45).

Metoda de săpare cu picotaj. Această metodă se aplică la trecerea prin roci curgătoare și acvifere, utilizînd picoți de lemn care se bat înainte în masa rocilor

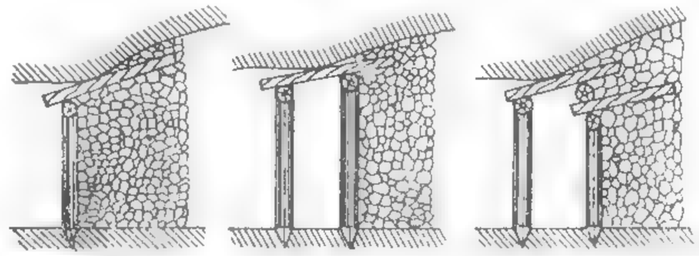


Fig. XI.44. Înaintarea cu palplanșe (faze succesive)

curgătoare (în frontul de lucru și în vatră), asigurîndu-se astfel consolidarea acestora. Printre picoți, care se bat unul lîngă altul pe toată suprafața frontului, se scurg apa și bucățile mai mici de rocă (fig. XI.46).

Documentarea geologică a galeriilor de explorare reprezintă obiectivul principal pentru care acestea se execută. Ca atare, acestei operații trebuie să i se acorde o importanță deosebită.

La documentarea geologică a galeriilor de explorare trebuie urmărite patru etape, după cum urmează:

ridicarea topografică;
cartarea geologică;
stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanțe minerale utile;
prelevarea probelor.

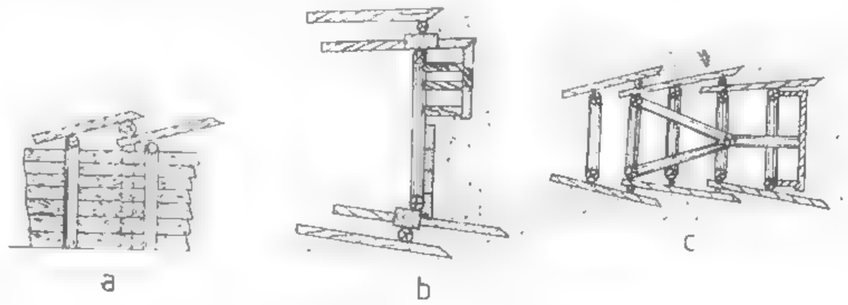


Fig. XI.45. Înaintarea cu scut de lemn:
a — peretele galeriei; *b* — secțiune verticală în front; *c* — vatra galeriei

Ridicarea topografică a galeriilor presupune efectuarea măsurătorilor topografice și reprezentarea acestora la scară pe plane și hărți.

Cartarea geologică reprezintă una din operațiile de bază ale documentării geologice și cuprinde două faze distincte: *cartarea desfășurată* și *descrierea desfășurarii*.

C a r t a r e a d e s f ă ş u r a t ă se execută pe carnetul de teren, în galerie, după fiecare ciclu de înaintare, înainte de susținerea definitivă. Pe hîrtie milimetrică se desenează la scară: pereții, vatra, tavanul și frontul, sau numai (de regulă) pereții, tavanul și frontul (forma cea mai des întîlnită în exploare).

Scările de cartare sînt 1:50; 1:100; 1:200 și mai rar 1:300, iar alegerea uneia sau a alteia se face în funcție de detaliile de trecut pe desfășurată.

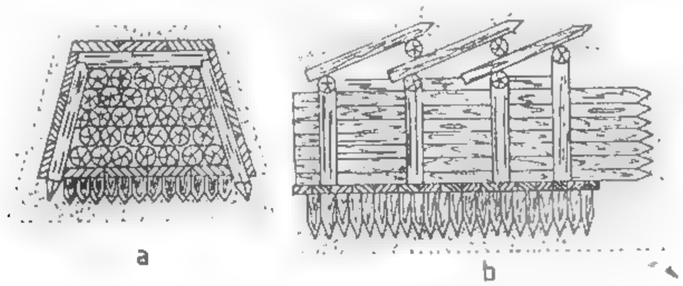


Fig. XI.46. Înaintarea cu picoți:
a — secțiune transversală; *b* — secțiune verticală longitudinală.

Înainte de începerea cartării propriu-zise se face o trecere în revistă a porțiunii de cartat, stabilindu-se detaliile ce se vor menționa pe desfășurată (ținîndu-se seama și de cartările anterioare) și totodată se face și marcarea metrajului pe unul din pereții galeriei.

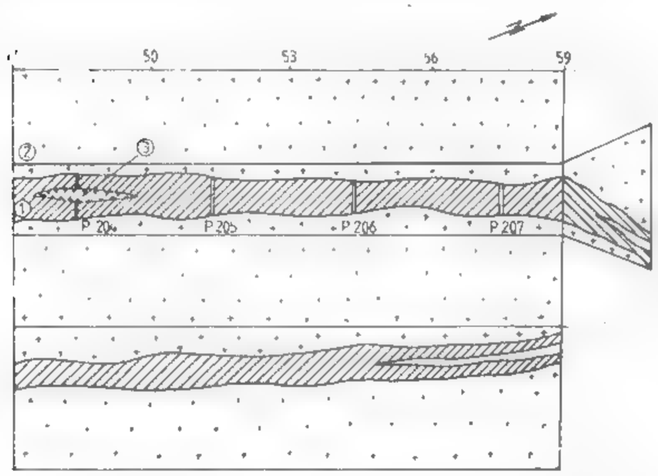


Fig. XI.47. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de galerie direcțională:
1 — mineralizație filoniană; *2* — andezit alterat hidrotermal; *3* — geodă; *P205* . . *P207* — locurile de prelevare a probelor chimice prin metoda brazdelor.

Pe desfășurată se trec aceleași elemente ca și în cazul șanțurilor, tranșeelor și puțurilor de mînă, cu mențiunea că se va insista pe elementele de poziție (direcție și înclinare) ale corpului de substanță minerală utilă și fahilor, care se vor menționa și ele pe desfășurată. Detaliile în acest caz sînt mult mai numeroase, făcîndu-se la următoarele scări: 1:10; 1:5; 1:2 sau chiar 1:1 și pot cuprinde texturi sau moduri de prezentare a mineralizațiilor (raporturi între minerale metalice, între minerale metalice și cele de gangă sau între mineralizație și roca înconjurătoare). Toate detaliile se vor figura pe desfășurată (fig. XI.47).

În practica geologică se mai obișnuiește să se facă și observații în planul de orizont (cartare în planul de orizont, fig. XI.48), dar de cele mai multe ori galeriile trebuie susținute imediat, lucru ce nu mai permite efectuarea observațiilor, și din acest motiv, se recomandă cartarea desfășurată imediat după un ciclu de înaintare și întocmirea planelor de orizont pe baza acestor cartări.

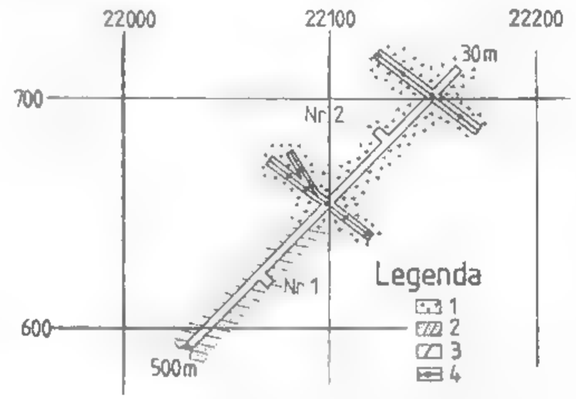


Fig. XI.48. Plan geologic de orizont.

D e s c r i e r e a d e s f ă ş u r a t e i se face în același mod ca și la tipurile de lucrări prezentate anterior, insistîndu-se foarte mult pe:

forma de prezentare a mineralizației;
- elementele structurale;
- gradul de fisurare;
- tipurile de mineralizație;
- tipurile de alterări;
- relațiile dintre corp și rocile înconjurătoare;
- fenomenele hidrogeologice;
- locul de probare și modul de probare;
- descrierea macroscopică a detaliilor etc.

Avînd în vedere, uneori, necesitatea susținerii totale a porțiunii de galerie executată, atît pe desfășurată, cît și la descriere se trec toate detaliile care pot fi observate, chiar dacă unele se trec cu semn de întrebare (cele pentru care nu există un grad prea mare de siguranță).

Stabilirea elementelor spațiale ale corpului de substanță minerală utilă. Elementele spațiale ale corpului de substanță minerală utilă au foarte mare importanță atît în ce privește orientarea lucrărilor ulterioare, cît și ca parametri de calcul al rezervelor (grosimea).

D i r e c ț i a ș i î n c l i n a r e a se măsoară în funcție de tipul de galerie, mai precis de poziția galeriei față de corpul de substanțe minerale utile, astfel:

În galerie direcțională măsurătorile se pot face cu *busola geologică* (direct pe suprafața corpului, aproximînd suprafața sau folosind *dispozitivul în cruce*) sau cu *busola suspendată* (se măsoară azimutul direcției). Pentru măsurătoare se întinde o sfoară de tavanul galeriei direcționale, între două puncte de pe aceeași față a corpului (dacă nu este posibil se aproximează această față), de care se suspendă busola cu zero reper în sensul căderii planului de măsurat, după care se face citirea la acul nordic al busolei (azimutul căderii stratului). Pentru determinarea înclinării, cînd nu poate fi

folosit clinometrul de la busola obișnuită, se folosește eclimetrul cu brațe de suspendare care se prinde de o sfoară — ce unește două puncte — unul din tavanul galeriei, iar celălalt din vatra galeriei, cu mențiunea că aceste două puncte să fie localizate în același plan al corpului de substanță minerală utilă, după care se face citirea directă.

În galerie transversală măsurarea elementelor de poziție se poate face tot cu busola obișnuită, pe fața de strat, sau folosind *dispozitivul în cruce*, sau cu busola suspendată și eclimetrul, cu mențiunea ca măsurătorile să se execute pentru același plan al corpului.

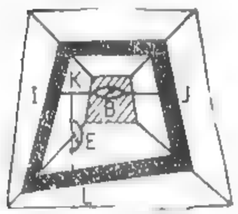


Fig. XI.49. Modul de materializare a planului de măsurare a direcției și înclinării corpului de substanță minerală utilă (filon, strat, lentilă) intersectat de o galerie.

Busola suspendată se folosește după ce se materializează linia rezultată din intersecția planului de măsurare a corpului cu planul orizontal, printr-o sfoară *IJ* (fig. XI.49), de care se suspendă busola *B* cu zero reper în sensul căderii planului și efectuîndu-se citirea azimutului căderii la acul nordic. Pentru măsurarea înclinării, de sfoara *IJ* se prinde o a doua sfoară *KL* (care trebuie să reprezinte, linia de cea mai mare pantă a planului) de care se suspendă eclimetrul *E* efectuîndu-se citirea directă.

În galerie oblică direcția și inclinarea se pot obține prin măsurători cu busola suspendată și eclimetrul, aplicate în cazul de mai sus, după ce linia *IJ* se materializează prin două jaloane (unite printr-o sfoară) în planul de măsurare al corpului. Direcția și inclinarea se mai pot determina și prin construcții grafice (metoda proiecției cotate), cînd nu se poate efectua măsurarea directă.

Grosimea normală (g_n) a corpului de substanță minerală utilă se poate măsura direct, în cazul în care aceasta se încadrează pe

frontul galeriei (galerie direcțională);
peretele galeriei (galerie transversală)
în vatră sau tavan (galerie oblică).

Pentru situațiile în care grosimea normală nu se încadrează pe unul din elementele galeriei, aceasta se determină în funcție de grosimea orizontală (g_o) și înclinarea corpului (α), după cum urmează:

galerie direcțională (fig. XI.50, *a*)

$$g_n = g_o \sin\alpha$$

— galerie transversală (fig. XI.50, *b*):

$$g_n = g_o \sin\alpha$$

galerie oblică (fig. XI.50, *c*).

$$g_n = g_o \sin\beta = g_o' \sin\alpha \sin\beta;$$

$$g_o = g_o' \sin\alpha;$$

$$\beta^\circ = \delta_2^\circ - \delta_1^\circ$$

unde: δ_1° — reprezintă azimutul direcției galeriei,
δ_2° — azimutul direcției zăcămîntului;
g_o' — grosimea aparentă orizontală;
α — înclinarea zăcămîntului.

Recoltarea probelor este o operație foarte importantă în cadrul documentării geologice. Se recoltează probe mineralogice, probe pentru determinări chimice, fizice și probe tehnologice.

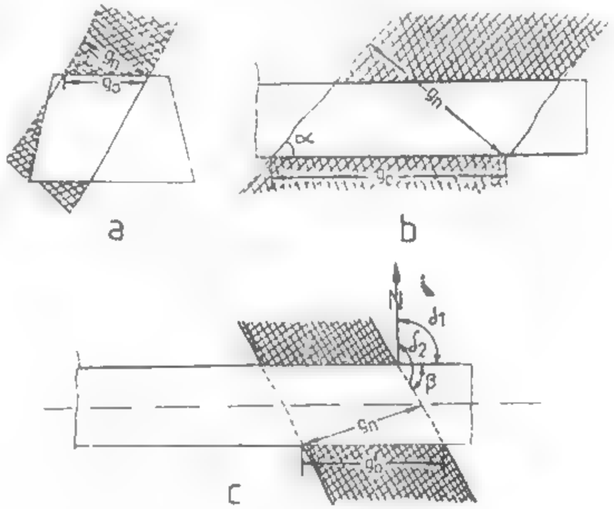


Fig. XI.50. Determinarea grosimii normale a corpului de substanță minerală utilă:

a — în cazul unei galerii direcționale; *b* — în cazul unei galerii transversale; *c* — în cazul unei galerii oblice.

Avînd în vedere importanța parametrilor care se obțin în urma probării substanței minerale utile, trebuie respectate toate condițiile unei probări cît mai reprezentative, condiții și metodologii prezentate în detaliu la Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile.

2.2.5. PLANE ÎNCLINATE DE EXPLORARE

Planele înclinate sînt lucrări minere cu o înclinare mai mică de 30°, săpate de sus în jos (descendent).

Obiective urmărite. Se folosesc la explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile înclinate sub 30°, care apar la zi.

Planele înclinate se folosesc pe scară mare în explorarea zăcămintelor de cărbuni și mai puțin în explorarea zăcămintelor de minereuri. Ele reprezintă avantajul că sînt mai ieftine decît puțurile verticale și mai ușor de executat.

Amplasamentul planelor înclinate de explorare. Planele înclinate de explorare se sapă de regulă în zăcămînt; cînd zăcămîntul este înclinat și aflorează, planul înclinat se sapă pe înclinarea lui, avînd vatra planului pe culcuș.

Forma și dimensiunile planelor înclinate de explorare. La dimensionarea planelor înclinate se ține seama, în general, de aceeași factori ca și la puțurile verticale.

Planele înclinate de explorare au secțiunile tipizate de: 5,20 m², 6,70 m², 8,00 m², 10,20 m² (v. tabelul XI.2) și se susțin în beton torcretat, în lemn (fig. XI.51), în metal (fig. XI.52) sau în beton monolit. Profilul acestora poate fi trapezoidal, sub formă de boltă sau circular, avînd două compartimente — unul pentru transport și celălalt pentru circulația personalului. Lungimea planelor înclinate se măsoară pe înclinare.

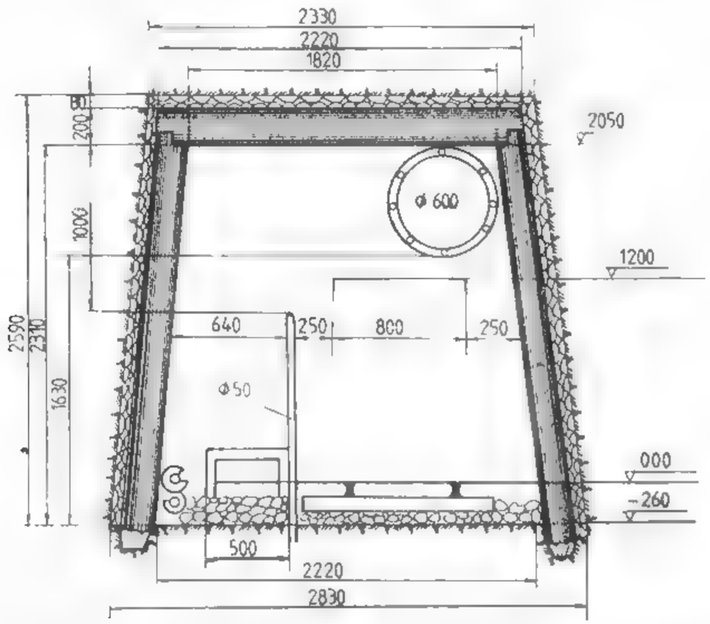


Fig. XI.51. Plan înclinat PI.11. — 6,70 m², cu profil trapezoidal, susținut în lemn.

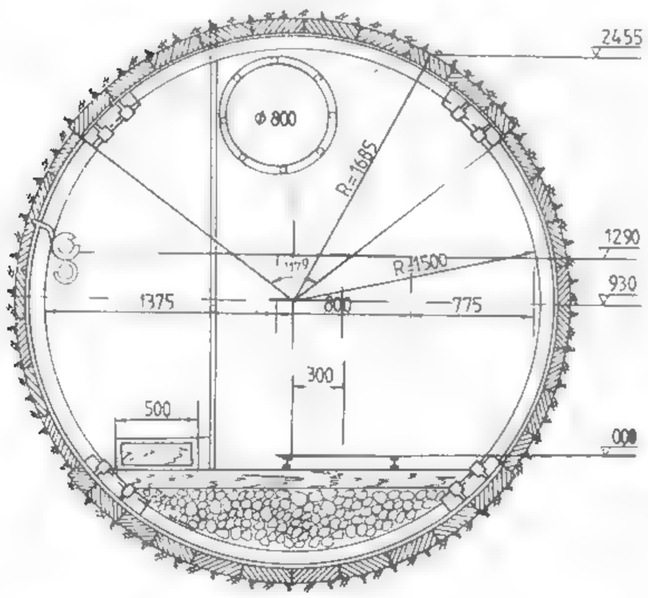


Fig. XI.52. Plan înclinat PI.2Mc — 9,00 m², cu profil circular și susținere metalică.

Săparea și susținerea planelor înclinate. Săparea planelor înclinate este determinată în special de infiltrațiile de apă.

Explorarea începută prin plane înclinate se combină cu galerii direcționale săpate din planul înclinat.

Totdeauna cînd zăcămîntul prezintă condiții favorabile pentru explorarea prin lucrări miniere, se examinează în prealabil dacă substanța minerală utilă este mai moale sau mai tare decît rocile înconjurătoare. Cînd zăcămîntul este mai moale se recomandă planul înclinat, deoarece este mai economic, iar în caz contrar, cînd zăcămîntul este mai tare, la aceleași condiții de zăcămînt este preferabil puțul vertical.

Săparea planelor înclinate se face de sus în jos, în cazul explorării inițiale a unui zăcămînt sau în cazul deschiderii unui nou orizont. Dacă planul înclinat servește la lucrare de legătură între un orizont inferior deja deschis și un orizont superior, se dă preferință, în cele mai multe cazuri, săparea de jos în sus, deoarece acest procedeu este mai economic (roca tăiată poate fi evacuată din front mai ușor).

Metodele de săpare de sus în jos a planurilor înclinate sînt asemănătoare cu metodele de săpare a galeriilor. Tăierea se face cu explozivi sau cu ciocane de abataj etc.

Susținerea planelor înclinate este asemănătoare cu cea a galeriilor.

Documentarea geologică și probarea formațiunilor din planele înclinate de explorare se fac la fel ca și la galerii.

2.6. SUITORI DE EXPLORARE ȘI COBORÎTORI

După străpungerea unui zăcămînt prin galerii transversale sau puțuri și după urmărirea lui prin galerii direcționale, acesta trebuie cercetat pe verticală, cu ajutorul unor lucrări miniere verticale sau ușor înclinate față de verticală (în funcție de înclinarea zăcămîntului),cu secțiunea mai mică decît a puțurilor, numite *suitori*.

Obiective urmărite. Prin suitori se cercetează continuitatea pe verticală a zăcămîntului, variațiile mineralizației pe verticală, se stabilește zona optimă de mineralizare și zăcămîntul este compartimentat în panouri, în vederea determinării rezervelor de categorii superioare (fig. XI.53).

În afară de rolul pe care îl au suitorile în conturarea și determinarea calitativă a zăcămîntului pe verticală, ele asigură aerajul în subteran, făcînd posibilă stabilirea unui circuit de aer care spală fronturile de lucru.

Forma și dimensiunile suitorilor de explorare. La alegerea profilului suitorilor ține seama de caracteristicile zăcămîntului, de natura rocilor și de scopul urmărit. Totdeauna suitorile de explorare au două compartimente, înlesnind săparea și mărind randamentul muncii, atît în timpul executării lucrării cît și ulterior (fig. XI.54—XI.56).

Cînd suitorile de explorare vor servi și viitoarei exploatări, se pot prevedea trei compartimente. Ca și lucrările orizontale, suitorile pot fi susținute sau nesusținute. Au profile de formă dreptunghiulară sau circulară a căror secțiune, după condițiile de săpare și scopul urmărit, poate fi de 3,20 m² (fig. XI.54), 5.10 m² (fig. XI.55) și [illegible] (tabelul XI.2). Lungimea lor este de 30—100 m, măsurată pe înclinarea [illegible].

Săparea și susținerea suitorilor de explorare. Suitorile se sapă, de regulă, în [illegible]. În cazul zăcămintelor înclinate, suitorile se sapă pe înclinare, urmărindu-se [illegible] zăcămîntului în pereți suitori.

Distanța dintre suitori variază de la zăcăminte la zăcăminte, de pînă la sute de grade, în funcție de gradul explorării care se execută. La fixarea distanței este necesar să se țină seama și de viitoarea exploatare, fiindcă suitorile de explorare pot fi folosite la exploatare.

Fig. XI.53. Împărțirea zăcămîntului prin suitori în panouri (secțiune în planul zăcămîntului, în proiecție verticală):

D — galerii direcționale; $S_1 \ldots S_5$ — suitori; $S_{1a} \ldots S_{5a}$ — șanțuri de explorare.

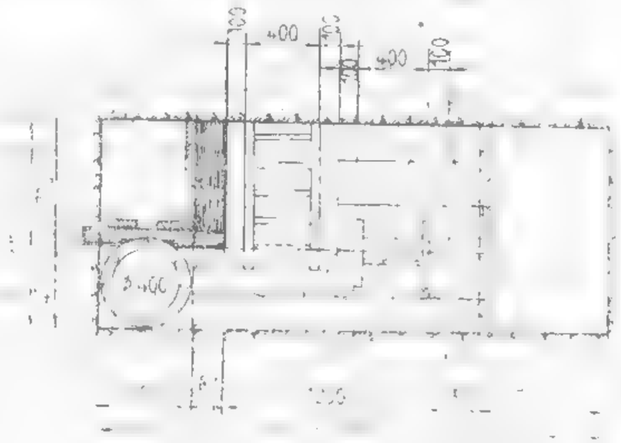
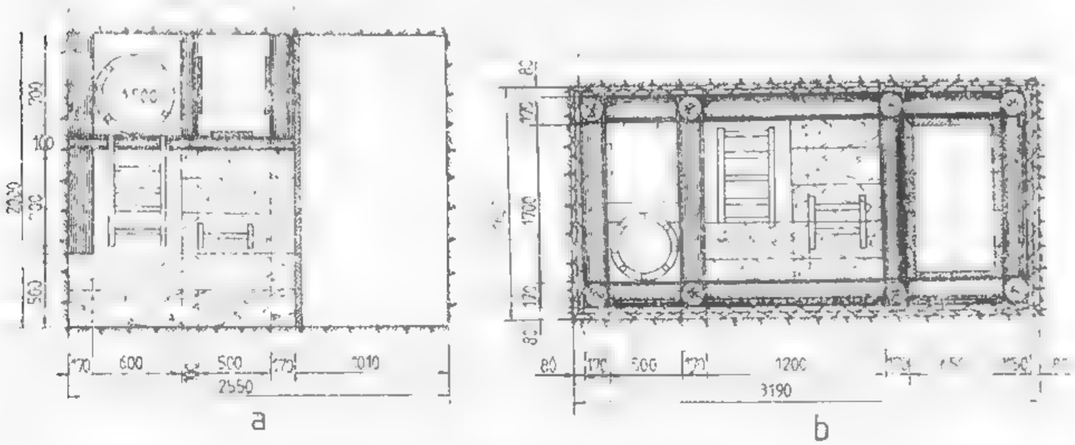


Fig. XI.54. Suitoare S1T1 — 3,2 m², dreptunghiulară, nesusținută.



a b

Fig. XI.55. Suitori cu profil dreptunghiular:

a — S2T1 — 5,10 m² nesusținută; *b* — S1L — 5,10 m² susținută cu lemn.

Cînd se urmărește explorarea amănunțită, suitorile se sapă la distanțe de 50 în 50 m, distanță considerată corespunzătoare din punct de vedere tehnic și geologic. La zăcăminte de dimensiuni mari această distanță poate fi de 100 m.

Susținerea suitorilor se face în lemn sau în beton.

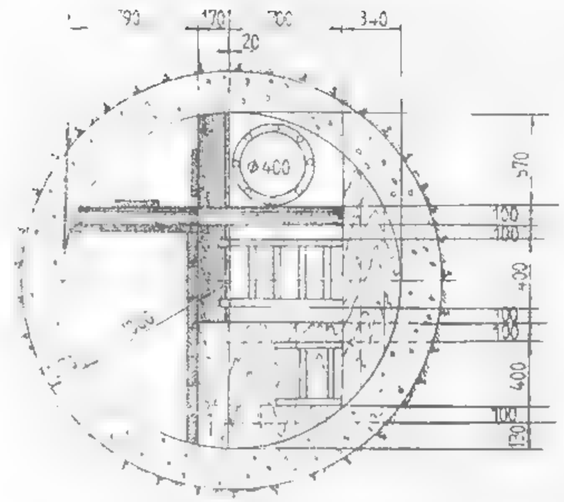


Fig. XI.56. Suitoare S1B — 5,10 m², cu profil circular, susținută în beton.

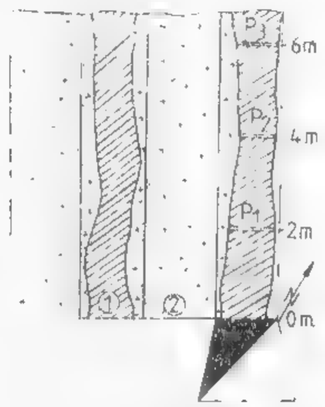


Fig. XI.57. Cartarea desfășurată a unei porțiuni de suitoare:

1 — mineralizație filoniană; 2 — andezit alterat; $P_1 \ldots P_3$ — locul de prelevare a probelor brazdă.

Documentarea geologică și probarea suitorilor se face după aceleași norme ca și la alte lucrări miniere (fig. XI.57). Concomitent cu săparea suitorilor se iau probe pentru analizele mineralogice și chimice.

3. EXPLORAREA PRIN FORAJE

3.1. CONDIȚII DE APLICARE A FORAJULUI ÎN EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR

Forajul a găsit în ultima vreme o largă aplicare în domeniul explorării tuturor substanțelor minerale utile, datorită rapidității în execuție, simplității utilajului și randamentului lucrărilor de explorare prin foraje, față de cel al lucrărilor miniere. Datorită acestei, în anumite situații în care zăcămîntul nu poate fi explorat prin foraje, cum este cazul zăcămintelor de substanțe fluide, al zăcămintelor situate sub fundul mărilor, sau cînd acestea sînt situate la o mare adîncime, de altă parte, recuperajul probelor de teren, care a crescut pînă la 90%-100%, oferă posibilitatea de a obține toate datele geologice necesare determinării caracteristicilor formațiunilor străbătute și descifrării structurilor geologice.

Cu toate avantajele pe care le oferă forajul, în explorare trebuie să se țină seama de condițiile locale și cele specifice fiecărui zăcămînt, examinîndu-se oportunitatea folosirii lucrărilor miniere sau de foraj sau o combinație a acestora.

Factorii de bază care determină, în general, alegerea metodei de explorare sînt:

forma zăcămîntului, mărimea și particularitățile sale tectonice;

caracterul repartiției mineralelor utile și a celor dăunătoare în corpurile mineralizate.

Există unele zăcăminte la care forma și extinderea în adîncime se pot cerceta atît din punct de vedere economic cît și tehnic prin lucrări miniere, iar altele unde se indică de la prima vedere folosirea forajelor, cum este cazul zăcămintelor situate la adîncime mare în scoarță sau a zăcămintelor de dezvoltare foarte mare și conținut uniform.

Un rol hotărîtor în alegerea genului de lucrări și în amplasarea acestora îl constituie caracterul mineralizației și în special modul uniform sau neuniform de repartiție a componentului util în masa mineralizată. În majoritatea cazurilor, zăcămintele se disting prin repartiție neuniformă, iar explorarea acestora numai prin lucrări de foraj ar conduce la cheltuieli foarte mari datorită numărului mare de foraje necesare stabilirii mărimii zăcămîntului și variației conținutului în component util. De altă parte, acest grad de precizie al rezultatelor nu poate fi atins în mod corespunzător.

Cu totul altă este situația zăcămintelor mari și cu conținut uniform.

Rezultă deci că sînt cazuri în care este indicat să se facă explorarea exclusiv prin lucrări miniere, cum sînt zăcămintele cu formă complicată, cu întindere teritoriu redusă și cu conținut foarte variabil în component util. La fel există situații cînd se recomandă explorarea exclusiv prin foraje, așa cum s-a mai arătat, în cazul zăcămintelor situate la mare adîncime sau al zăcămintelor de mare amploare și cu conținut uniform.

În majoritatea cazurilor însă este nevoie să se folosească explorarea mixtă, prin combinarea lucrărilor miniere cu cele de foraje, iar preponderența unuia din genul de lucrări depinde de la zăcămînt la zăcămînt. În folosirea combinată a lucrărilor, execuția acestora poate fi organizată astfel ca ca ele să fie realizate:

simultan (sau în paralel), cînd zăcămîntul este atacat atît prin lucrări miniere cît și prin foraje;

succesiv, cînd forajul se aplică pe baza rezultatelor obținute în prealabil de lucrările miniere de explorare și invers;

paralel-succesiv, care reprezintă procedeul cel mai obișnuit.

Afară de avantaje, forajul de explorare are și unele dezavantaje. În cursul executării forajului, realizarea unui procent ridicat de recuperare a carotei, ca și menținerea normală a noroiului de foraj sînt în unele cazuri extrem de dificile, iar uneori chiar imposibile. Astfel, existența unui acoperiș faliat sau a zăcămintelor fisurate și dislocate crează condiții grele de lucru și scumpesc enorm lucrarea prin măsurile speciale de izolare ce se impun (tubarea, cimentarea).

De altă parte, realizarea unei probări corecte conduce în multe cazuri la reducerea fundamentului săpăturii și la ridicarea costului execuției.

În afara criteriilor privind costul lucrărilor și durata de execuție, lucrările de explorare miniere și de foraj mai trebuie apreciate comparativ și sub aspectul preciziei rezultatelor și al riscului. Din punctul de vedere al rezultatelor, utilizarea lucrărilor miniere este superioară lucrărilor de foraj, datorită posibilității contactului direct cu formațiunile geologice. De asemenea, lucrările de foraj sînt mai riscante, fie datorită condițiilor de zăcămînt (faliere, efilări, cutări ale zăcămîntului etc.), care fac ca rezultatele forajelor să fie negative sau neconcludente, fie datorită tehnicii de foraj (devieri, recuperaj necorespunzător etc.), care fac ca lucrările să nu-și atingă obiectivul urmărit (v. fig. XI.101).

Din analiza condițiilor de aplicare a lucrărilor de foraj în explorarea zăcămintelor de substanțe minerale utile și a criteriilor de comparație a acestora cu lucrările miniere, se pot trage următoarele concluzii:

— există situații în care unica posibilitate de investigație în domeniul cercetărilor geologice și a explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile o prezintă lucrările de foraj;

— în faza de explorare, metoda cea mai indicată este folosirea combinată a lucrărilor miniere și de foraj;

— justificarea economică a duratei de execuție a lucrărilor trebuie să fie făcută luîndu-se în considerație întregul ansamblu de lucrări necesare explorării integrale și perioada necesară pînă la darea în exploatare a zăcămîntului;

— deși gradul de precizie al rezultatelor obținute prin lucrările de foraj este inferior preciziei datelor din lucrările miniere de explorare, totuși acestea dau posibilitatea obținerii de rezultate concludente asupra mineralizației și a potențialului zăcămîntului, ceea ce permite să se facă previziuni de timp asupra lucrărilor de viitor;

— prin problemele de execuție și de organizare mai simple, pe care le ridică activitatea forajului de explorare, există întotdeauna posibilitatea de a face investiții și a obține date mult mai dezvoltate în cele mai variate situații ale condițiilor naturale și de zăcămînt.

3.2. DATE GENERALE ASUPRA FORAJULUI

Forajul constă în executarea în scoarță a unei deschideri cilindrice caracterizată prin lungime mare în comparație cu secțiunea sa, numită *gaură de sondă*.

În procesul tehnologic de foraj, indiferent de scopul urmărit și utilajul folosit, se disting operații de bază și operații accesorii.

Operațiile de bază ale forajului sînt:

— forajul propriu-zis sau dislocarea rocii;

— spălarea găurii de sondă de sfărîmăturile rezultate în urma săpării;

— introducerea și extragerea garniturii de foraj (operații de manevră).

Operațiile auxiliare sînt:

— consolidarea pereților găurii de sondă sau tubajul, care se face cu ajutorul coloanei de tubaj, constituită din burlane de oțel;

— izolarea apelor sau cimentarea, în regiunile în care se găsesc printre straturile străbătute existînd și strate acvifere, care trebuie izolate;

— instrumentațiile sau operațiile de rezolvare a accidentelor prezente din diverse cauze în timpul forajului.

Clasificarea forajului. După scopul pe care îl urmărește lucrarile de foraj se pot clasifica în: foraj de prospecțiune, foraj de referință, foraj de explorare, foraj de exploatare; foraj pentru cercetări geotechnice; foraj hidrogeologic.

Forajul de prospecțiune servește la executarea găurilor de sondă necesare prospecțiunii geofizice, în special prospecțiunilor seismice.

Forajul de referință urmărește determinarea structurii geologice a unei regiuni.

Forajul de explorare se execută în regiunile în care prospecțiunile au dat indicații asupra existenței zăcămintelor de substanțe minerale utile.

Forajul de exploatare servește pentru exploatarea zăcămintelor de gaze, țiței, sare sau în alte scopuri (aeraj, rambleiere etc.).

Forajul pentru cercetări geotehnice servește la determinarea naturii terenurilor și la amplasări construcțiilor industriale, a lucrărilor edilitare, barajelor, tunelelor etc.

Forajul hidrogeologic se execută în scopul efectuării cercetărilor pentru alimentări cu apă, studiilor hidrogeologice, asecărilor și altor lucrări similare.

După modul în care se efectuează operațiile de bază, se deosebesc: forajul percutant și forajul rotativ.

Forajul rotativ se caracterizează prin aceea, că mișcarea de rotație a sapei se realizează prin intermediul garniturii de foraj acționată de masa rotativă sau de dispozitivul de rotire în cazul sondezelor. Curățirea găurii de sondă de detritus se face în mod continuu, prin noroiul de foraj, care intră prin prăjini, trece prin orificiile uneltei de săpat și iese la suprafață prin spațiul inelar dintre prăjini și pereții găurii de sondă.

Forajul rotativ, datorită avantajelor pe care le prezintă față de forajul percutant, a ajuns să-l înlocuiască complet pe acesta din urmă în forajul de exploatare.

3.3. SĂPAREA GĂURII DE SONDĂ. SAPE ȘI CAROTIERE

Dislocarea rocii în procesul de foraj, în funcție de scopul urmărit, se poate realiza pe întreaga secțiune a găurii de sondă sau numai pe secțiune inelară. Dislocarea sau tăierea rocilor din talpa găurii de sondă se realizează prin pătrunderea uneltei tăietoare în rocă în mod alternativ, în cazul forajului percutant, sau prin pătrunderea și rotirea concomitentă a uneltei tăietoare (sapă, carotieră) în rocă, în cazul forajului rotativ.

Dislocarea rocii pe întreaga secțiune se face cu ajutorul sapei de foraj, iar dislocarea pe secțiune inelară se realizează cu ajutorul carotierelor.

3.3.1. SAPE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul de explorare cu sondeze, scopul fiind acela de a extrage cât mai multe probe de teren, sapele sînt utilizate numai în cazuri speciale, cum ar fi: începutul forajului, lărgirea găurilor de sondă, controlul și curățirea găurilor de sondă, săparea unei porțiuni în care nu este nevoie să se extragă probe, la săparea găurilor de sondă pentru hidrocarburi sau surse naturale de apă.

O utilizare largă au sapele în forajul cu sondeze pentru scopuri geotehnice și hidrotehnice [illegible] monitorizări subterane sau la rambleierea golurilor rezultate în urma exploatării, pentru găuri de control minier, pentru executarea suitorilor etc.

După modul de acționare pe talpa găurii de sondă pentru dislocarea rocii, se deosebesc: *sape cu efect aschietor* (sape cu lame); *sape cu efect de [illegible]* (sape cu role) și *sape cu efect de roadere* (sape cu diamante).

În forajul cu sondeze se utilizează următoarele tipuri de sape: *sape cu lame* (sapa cu trei lame), *sape cu role* și *sape cu diamante*, cu dimensiuni corespunzătoare pentru forajul cu sondeze.

Tabelul XI.3

sape cu 3 lame (STAS 1408-74)

Diametrul sapei, D_s				Diametrul nominal al filetului sapei (cep sau muf) mm	Înălțimea sapei, H_s (recomandată) mm	Masa sapei (recomandată) kg
Nominal mm		în	Abateri in			
120,7		4 3/4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	10
[illegible]		4 7/8	[illegible]	2 7/8 N	[illegible]	11
[illegible]		[illegible]	[illegible]	[illegible]	270	[illegible]
142,9		5 5/8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	13
146,1		5 3/4	[illegible]	[illegible]	280	14
149,2		5 7/8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	20
152,4		[illegible]	[illegible]	3 1/2 N	[illegible]	22
155,6		6 1/8	[illegible]	[illegible]	300	[illegible]
158,8		6 1/4				
161,9		6 3/8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	23
165,1		6 1/2				
168,3		6 5/8				
171,5		6 3/4				
184,2		7 1/4	0,8	[illegible]	305	24
187,3		7 3/8				
190,5		7 1/2	[illegible]	[illegible]	310	25
193,7		7 7/8	[illegible]	[illegible]	330	30
196,9		7 3/4	[illegible]	[illegible]	340	34
200,0		7 7/8	[illegible]	4 1/2 N	350	38
212,7		8 3/8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	42
215,9		8 1/2				
219,1		8 7/8	[illegible]	[illegible]	370	43

În general, la alegerea tipului de sapă trebuie să se țină seamă, în primul rînd, de caracterul formațiunilor în care se sapă.

În funcție de natura rocilor în care se forează, sapele sînt armate cu diverse materiale (abaje) dure și cu diamante.

a. **Sape cu lame.** În forajul cu sondeze este întîlnită frecvent *sapa cu trei lame* (fig. XI.58), folosită ca sapă specială pentru lărgirea găurii de sondă, frezatul carotelor rămase în gaura de sondă și a cimentului din coloană. Dimensiunile acestei sape sînt date în tabelul XI.3.

Sape cu role. Se folosesc la forajul în roci tari și foarte tari. În timpul lucrului sapa se învîrtește și odată cu ea se învîrtesc și rolele care se rostogolesc pe talpa găurii de sondă. Dinții lovesc roca, o sfărîmă în bucăți, care sînt luate de curentul de noroi și aduse la suprafață. După modul de construcție al rolelor, dislocarea rocii pe talpa găurii de sondă se realizează ca urmare a acțiuni de așchiere și despicare produsă de rostogolirea pe talpa găurii de sondă și de tîrîre în același timp al rolelor,

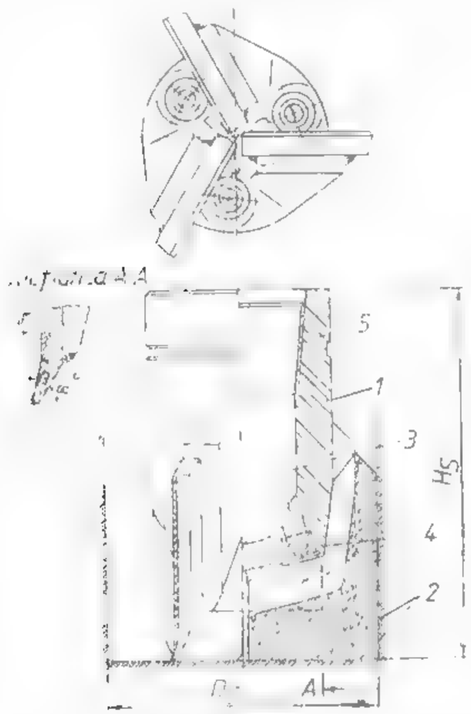


Fig. XI.58. Sapă cu trei lame:
1 — corp; 2 — muchii active; 3 — interior; 4 — duză; 5 — filet de legătură.

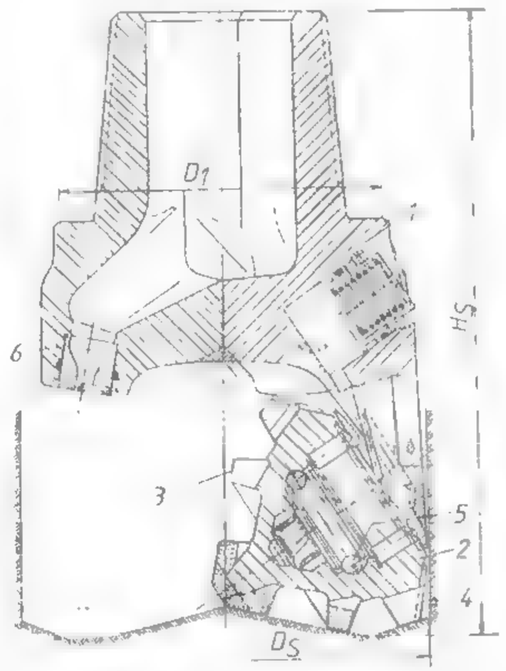


Fig. XI.59. Sapă cu trei role conice:
1 — falcă; 2 — con; 3 — dantură; 4 — contracon; 5 — lagăr; 6 — duză.

sau dislocarea are loc ca efect al despicării și sfărîmării. Profilul dinților diferă după tăria rocilor. Pentru rocile de tărie mijlocie, dinții sînt lungi și ascuțiți, iar pentru rocile tari și foarte tari sînt scurți și obtuzi.

Sapele cu role dau rezultatele cele mai bune în forajul rapid, cînd turația și apăsarea pe talpă sînt mari.

Sapele cu role se realizează într-o gamă largă de tipuri și dimensiuni, ceea ce le face propice pentru traversarea rocilor cuprinse în categoriile I—IX. Cele mai răspîndite sînt *sapele cu trei role conice*. Acest tip de sapă este alcătuit dintr-un corp masiv de oțel, prevăzut la partea superioară cu cep sau mufă, iar la partea inferioară cu 3 fălci în care se fixează în consolă axele pe care se rotesc rolele sapei (fig. XI.59). În comparație cu sapele cu lame, sapele cu role au o durată mai mare de funcționare, realizează găuri mai uniforme și permit mărirea vitezelor de foraj, tapt pentru care în ultima vreme ele le-au înlocuit aproape complet pe cele cu lame.

Tabelul XI.4.

Tipurile de sape cu trei conuri (role), în funcție de rocile în care se sapă

Tipul sapei	Roca	
	Rezistența la foraj și abrazivitate	Exemple (informativ)
S	Slabă (roci neconsolidate)	Argile și marne slabe, marne nisipoase neconsolidate, nisipuri neconsolidate etc.
SM	Slabă-medie (roci slab consolidate	Argile și marne consolidate, nisipuri slab consolidate, gips, sare breccifiată etc.
M	Medie (roci mediu consolidate)	Argile, marne nisipoase și nisipuri presate, sare masivă, gresii de tărie medie, conglomerate de tărie medie etc.
MA	Medie și abraziva (roci mediu consolidate și abrazive)	Nisipuri presate abrazive, gresii de tărie medie abrazive, conglomerate de tărie medie abrazive etc.
MT	Medie tare (roci consolidate)	Marne nisipoase presate tari, gresii compacte, nisipuri presate tari etc.
MTA	Medie tare și abraziva (roci consolidate și abrazive)	Gresii abrazive compacte, nisipuri silicioase consolidate etc.
T	Tare (roci consolidate tari)	Dolomite, calcare dolomitice, calcare grezoase, gresii compacte tari, conglomerate tari etc.
TA	Tare și abrazivă (roci consolidate tari și abrazive)	Calcare silicioase, gresii silicioase, conglomerate abrazive tari, dolomite abrazive etc.
TEA	Tare-extratare și abrazivă (roci consolidate tari-extratari și abrazive)	Gresii silicioase tari (gresia de Kliwa), calcare dolomitice silicioase, calcare cuarțitice, roci magmatice alterate etc.
EA	Extratare și abrazivă (roci consolidate extratari și abrazive)	Cuarțite, roci magmatice nealterate, bazalt, roci eruptive abrazive etc.

După caracterul rocilor în care se sapă sapele cu conuri fabricate în România se execută în zece tipuri, conform tabelului XI.4, dimensiunile acestora fiind date în tabelul XI.5.

Dimensiunile sapelor cu trei conuri

Diametrul sapei D_s			Diametrul umărului sapei D_s	Îmbinare filetată cu umăr cep STAS 833 1-80	Coloana de burlane în care intră sapa informativ			Coloana de burlane pentru care se rămîne informativ		Masa sapei informativă, kg			
Simbolul diametrului	Diametrul nominal	Abaterea limită			Mărimea	Diametrul exterior	Diametrul interior minim	Mărimea	Diametrul exterior	Lungimea sapei informative	Diametrul exterior al umărului	Nominală	Variația admisă în %	Cu diametrul exterior al umărului sapei	Cu diametrul exterior al carotei sapei
$3^3/_4$	95,3				$4^1/_2$	114,3	99,6	$2^3/_8$	60,3	176	73,0	4,5	—	4,8
$4^1/_8$	104,8				5	$127,0$	108,6			183	22,9	5,0		5,5
$4^1/_8$	114,3						118,6			194				
$4^3/_8$	117,5		$2^7/_8$ REG		$5^1/_2$	139,7	121,4	$2^7/_8$	73,0	198	93,2	5,3	—	6,5
$4^3/_4$	120,7						124,3			202		5,8	5,0	8,2
$5^3/_8$	136,5				$6^5/_8$	168,3	144,2	$4^1/_2$	114,3	235	127,0	10,8	11,1	11,8
$5^5/_8$	142,9						147,1			245		12,0	12,0	12,3
$5^7/_8$	146,1						150,4			250		12,1	12,2	12,7
$5^7/_8$	149,1						153,7	5		250	141,3	12,2	13,2	13,5
6	152,4						157,1			255		12,5	13,5	14,5
$6^1/_8$	155,6	$-0,74$	$3^1/_4$ REG		—	$177,8$	159,4			260		12,7	13,4	15,0
$6^1/_4$	158,8						164,0			262		13,9	13,6	15,2
$6^1/_2$	165,1						168,3			281	159,7	14,0	14,2	21,0
$6^3/_4$	171,5				$7^5/_8$	193,7	172,0	$5^1/_8$	139,7	281		17,5	20,5	26,8
$7^3/_8$	187,3						190,5			290		22,8	27,0	30,2
7	190,5				$8^5/_8$	219,1	193,7			322		23,5	27,5	32,0
$7^7/_8$	200,0						203,2	$6^5/_8$	168,3	330	187,7	27,0	33,5	34,5
$8^3/_8$	212,7		$4^1/_4$ REG	155,3			216,8			340		30,4	39,0	41,2
$8^1/_2$	215,9						220,5			340		31,8	39,5	41,5
$8^5/_8$	219,1				$9^5/_8$	244,5	224,4			34[illegible]		32,[illegible]	40,4	41,[illegible]
$8^3/_4$	222,3						226,6			352		33,5	40,0	42,4

Sape cu diamante. Sînt folosite în foraj la traversarea rocilor de categoriile VII–XII, în care nu se urmărește extragerea de carote, la devierea găurilor de sondă în roci foarte tari și extra tari, precum și la forajul găurilor de sondă pentru anumite scopuri în exploatările miniere.

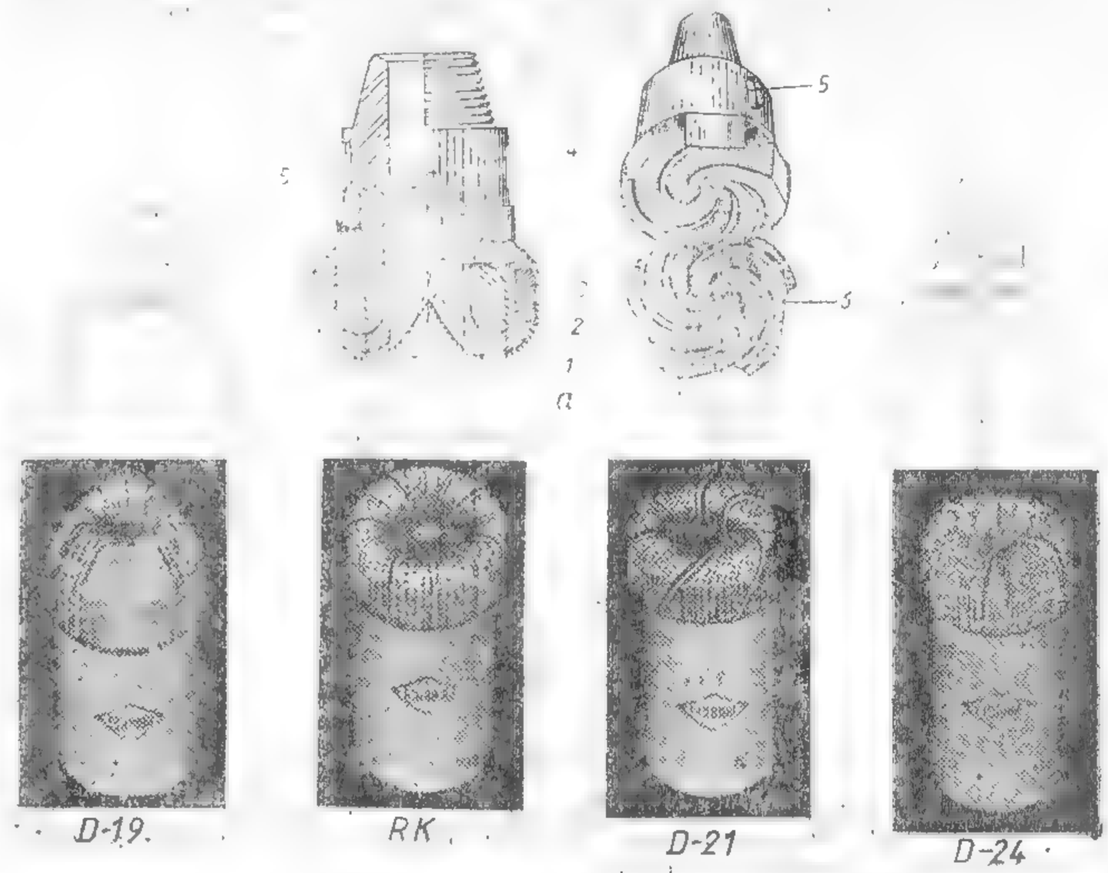


Fig. XI.60. Sape cu diamante:

a — elemente constructive: 1 — diamante; 2 — matrice (metal dur plantat cu diamante); 3 — niceni matrice (oțel cu conținut redus de carbon); 4 — corpul legăturii filetate (oțel aliat); 5 — locaș pentru strîngerea sapei; 6 — canale de circulație a fluidului de foraj; b — sape DIAROM pentru foraj cu sondeze.

Tipurile constructive de sape cu diamante sînt foarte diferite, atît în ce privește forma geometrică a sapei cît și amplasarea diamantelor și a canalelor de circulație, urmărindu-se prin construcțiile respective rezolvarea cît mai bună a problemelor speciale de foraj. În fig. XI.60 se dau elementele constructive ale sapei cu diamante, cum și două tipuri folosite în roci de tărie diferită.

Caracteristicile principale de recunoaștere a diferitelor tipuri constructive sînt: căile de circulație drepte sau spirale; numărul, forma și poziția lor; suprafața de tăiere rotundă sau în formă de trepte a sapei.

d. **Alte tipuri de sape folosite în forajul cu sondeze.** *Sapa lance* sau *sapa șpiț* este o sapă specială, folosită la instrumentații. Cu ea se execută pe talpa găurii de sondă o gaură conică, în interiorul căreia intră obiectele mici rămase la puț, în modul acesta putînd fi mai ușor prinse de sculele de instrumentație (fig. XI.61,*a*). De asemenea, se folosește pentru trecerea pe lîngă o garnitură rămasă în gaura de sondă, la frezarea dopurilor de ciment din coloană sau din gaura de sondă și la corectarea găurii de sondă pentru a-i da forma necesară centrării sapei.

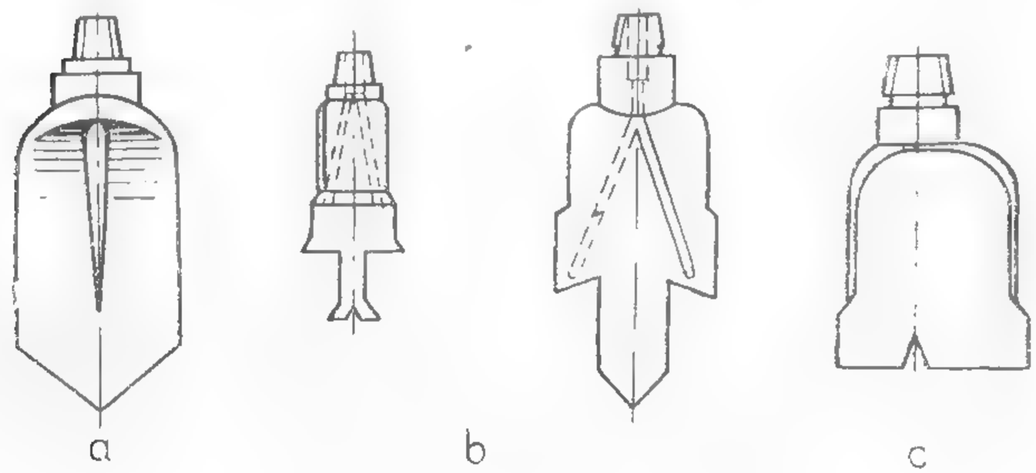


Fig. XI.61. Sape speciale

a — sapă cu lance ; *b* — sapă cu premergător ; *c* — sapă excentrică

Sapa cu premergător (fig. XI.61,*b*) și *sapa excentrică* (fig. XI.61,*c*) sînt folosite pentru lărgirea găurii de sondă pe intervale scurte, pentru îndreptarea găurii și uneori pentru devierea neorientată a acesteia.

Sapa spirală se folosește pentru trecerea pe lîngă o garnitură rămasă la puț.

Sapa elicoidală se folosește în forajul dirijat.

Materiale pentru construcția sapelor și pregătirea lor pentru lucru. Sapele, fiind cel mai mult solicitate și expuse uzurii, se fabrică dintr-un oțel de calitate superioară.

Sapele cu role, fiind sape complicate din punct de vedere constructiv, trebuie verificate cu toată atenția, iar cînd se ajunge pe talpă, sapa nouă trebuie supusă unui rodaj de 20—30 min, cu apăsare mică și creștere treptată pînă la apăsarea recomandabilă pentru regimul de foraj.

Sapele cu diamante sînt recomandabile în rocile tari și foarte tari. Pentru asigurarea utilizării corecte a acestor sape, atenția trebuie să fie îndreptată asupra turației, apăsării pe talpă și debitului de foraj.

3.3.2. CAROTIERE FOLOSITE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

Saparea pe secțiune inelară a tălpii găurii de sondă și extragerea probelor de teren din formațiunile străbătute de gaura de sondă se realizează cu instrumente speciale numite *carotiere mecanice*, iar probele extrase se numesc *carote*.

Extragerea probelor de teren cu ajutorul carotierelor se mai numește *carotaj mecanic*.

Carotierele mecanice pentru sondeze se clasifică în:

- *carotiere normale*
  - simple
    - cu pereți subțiri (pînă la 3,5 mm)
    - cu pereți grași (peste 3,5 mm)
  - duble
    - cu tub interior fix
    - cu tub interior rotativ
- *carotiere speciale*
  - introductibile prin prăjini,
  - pentru extras carote orientate
  - pentru extras probe laterale
  - hidropercutante,
  - alte tipuri.

Conform STAS-ului în vigoare (1595/1—80) carotierele mecanice normale se clasifică în:

- carotiere mecanice normale
  - simple
    - tip G
    - tip T
  - duble
    - cu tub interior rigid (grupa 1)
      - tip G
      - tip T
    - cu tub interior rotitor (grupa 2)
      - tip G
      - tip T
      - tip M
      - tip F

Tipul G de carotieră simplă sau dublă se caracterizează prin aceea că efortul de rupere se preia exclusiv de tubul exterior, prin montarea reținătorului de probă în coroană, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lîngă carotă.

Tipul T de carotieră este similar cu tipul G, avînd însă diametrul probei extrase mai mare prin micșorarea grosimii tubului carotier.

Tipul M este o carotieră dublă la care efortul de rupere se preia exclusiv de tubul interior, prin montarea în interiorul acestuia a reținătorului de probă prin intermediul unei casete, iar spălarea tălpii găurii de sondă se face pe lîngă probă (descărcare laterală).

Tipul F de carotieră dublă este similar cu tipul M, însă spălarea tălpii găurii de sondă se face prin coroană (descărcarea frontală).

Carotiere normale simple. Carotierele simple sînt cele mai folosite în forajul de explorare. La o carotieră simplă se disting următoarele părți: coroana carotierei *1*,

Tabelul XI.6

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice simple

Carotiere	Diam. ext. al capului	Tipul capului	Diametrul exterior, *D*, al carotierei	Filetul de legătură la prăjini	Diametrul carotei	Lungimea carotierei, *L*	Lungimea de carotaj
	mm		mm			mm	
EWG	37,46	[illegible]	36	EW	21,36	1788	
AWG	47,75		46	AW	29,27	1840	1500
BWG	59,69	Cu diamante, cu stifturi sau cu plăcuțe	58	BW	[illegible]	[illegible]	
NWG	75,44		74	NW	54,61	[illegible]	
BWT	59,69		59	BW	44	[illegible]	
NWT	75,44		74	NW	58,62	1836	
						4836	1500
							3000
							4500
HWT	98,98		97	HW	80,82	[illegible]	

reținătorul de probă (carotă) *2*, manșonul alezor *3*, tubul exterior *4* și reducția superioară *5* (fig. XI.62).

Coroana carotierei sau freza se înșurubează la tubul carotier prin intermediul unei reducții care constituie caseta sau locașul prinzător de carotă. Înșurubarea la prăjina de foraj se face folosind reducția superioară *5*. Lungimea tubului carotier este de obicei de 3 m; însă se pot folosi și tuburi mai scurte sau mai lungi.

În tabelul XI.6 se dau caracteristicile tehnice ale carotierelor normale simple.

Carotiere normale duble. Forajul cu carotiere simple prin roci dezagregate, nisipoase care se spală, nu asigură întotdeauna recuperarea de carote corespunzătoare. Carota extrasă nu corespunde în întregime cerințelor geologice, întrucît roca este [illegible] cărată, mărîmărită și cu structura deranjată.

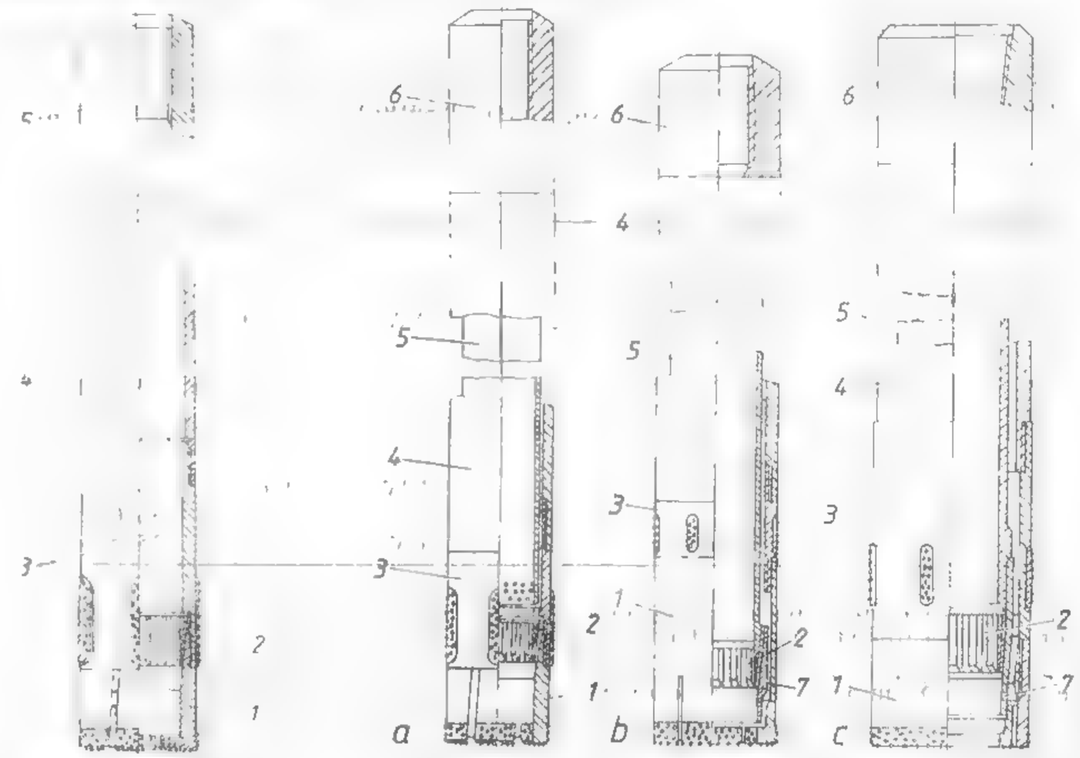


Fig. XI.62. Carotieră mecanică normală simplă tip G și T

Fig. XI.63. Carotiere mecanice normale duble

a — tip G și T cu tub interior rigid sau rotitor; *b* — tip M cu tub interior rotitor; *c* — tip F cu tub interior rotitor; *1* — coroană; *2* — reținător de probă; *3* — manșon alezor; *4* — tub exterior; *5* — tub interior; *6* — reducție superioară; *7* — caseta reținătorului de probă

Din aceste motive, la forajul prin roci dezagregate este necesar să se folosească carotiere duble, care sînt astfel construite încît înlătură contactul dintre carotă și fluidul de foraj. În principiu, o carotieră dublă constă din două carotiere simple concentrice. La acest tip de carotieră noroiul de foraj trece din prăjină prin spațiul inelar dintre cele două carotiere, ocolind astfel carota care se găsește în carotiera interioară.

Din punct de vedere constructiv există multe tipuri de carotiere duble, care se perfecționează continuu. După principiul de funcționare și după construcție, acestea se pot împărți în două categorii:

carotiere duble cu tubul interior *fix* (fig. XI.63, *a*);

carotiere duble cu tubul interior *rotitor* (fig. XI.63, *b* și *c*; tabelul XI.7).

Carotiere speciale. *Carotiera introductibilă prin prăjini.* Prin construcția și modul său de lucru, această carotieră elimină marșurile de introducere și extragere a prăjinilor și astfel crește timpul productiv de lucru.

Tabelul XI.7

Caracteristici tehnice ale carotierelor mecanice duble

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră	Tipul capului	Diametrul exterior, *D*, al carotierei	Filetul de legătură la prăjini	Diametrul carotei	Lungimea carotierei, *L*	Lungimea d. carota
	mm		mm		mm		
EWG-1	37,46	cu știfturi sau cu lame	36	EW	21,34	1835 3335	
AWG-1	47,75	cu diamante	46	AW	29,9	1915 3415	
BWG-1	59,69	cu știfturi sau cu diamante	58	BW	41,9	1835 3335	1500 3000
NWG-1	75,44	cu știfturi sau cu lame	74	NW	54,6	1870 3370	
HWG-1	98,98	cu diamante	95	HW	76,07	3535	

Carotiera introductibilă constă dintr-un tub exterior (fig. XI.64) și unul interior rotativ care este suspendat pe un ansamblu de rulmenți. Introducerea și extragerea carotierei prin prăjini se face cu ajutorul unui troliu mecanic prevăzut cu cablu de Ø 4—5 mm, acționat de un motor. După executarea unui marș de [illegible] egală cu cea a tubului interior se extrage, fără ajutorul unei coloane cu geală, numai tubul interior care are în interiorul său carota. Carotiera este echipată cu scule de manevră, montaj și reglaj.

În tabelul XI.8 sînt date caracteristice tehnice ale carotierelor introductibile pentru sondeze.

Tabelul XI.8

Caracteristici tehnice ale carotierelor introductibile

Simbolul carotierei	Diametrul exterior al capului de carotieră, *D*	Lungimea carotierei, *L*	Filetul mufei de legătură la garnitura de prăjini	Diametrul probei	Lungimea carotei
	mm			mm	
AI	46,07	2370 sau 3870	AQ	27	1500 sau 3000
BI	57,2	2380 sau 3880	BWL	36,27	
NI	73,0	2455 sau 3955	NWL	47,50	
HI	92,1	4065	HWL	63,37	3000

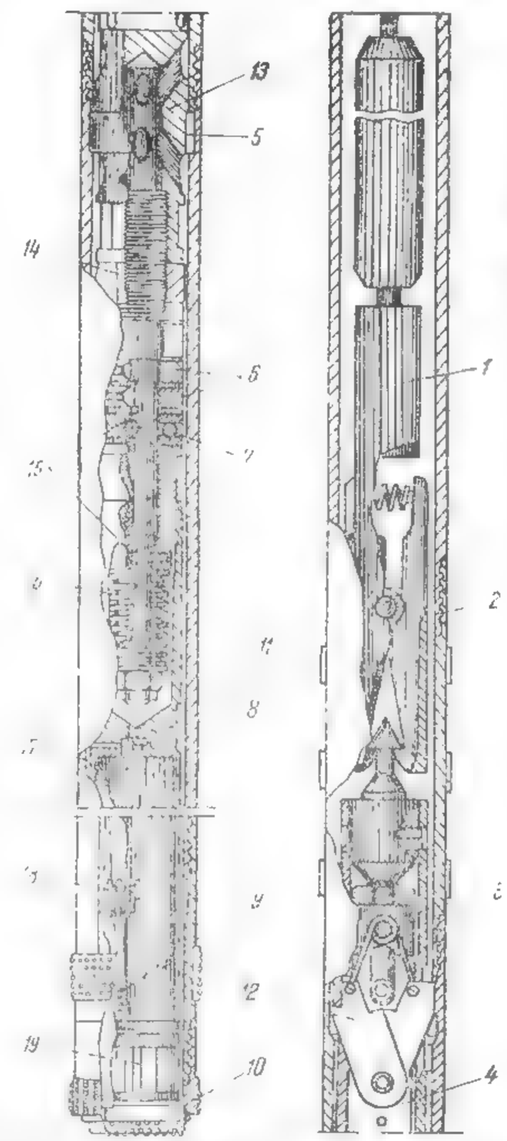


Fig. XI.64. Carotieră introductibilă prin prăjini seria Q:

1 — coroana; 2 — tubul de producție și perforare cu filet; 3 — arcul cheștelor; 4 — suportul cheștelor; 5 — prag de fixare; 6 — inel de strângere; 7 — ax cu rulmenți; 8 — greșor; 9 — inel opritor al unui reținător de probă; 10 — secțiune [illegible] a coroanei; 11 — suprafață tratată cu aliaj de [illegible]; 12 — cheș; 13 — umărul de fixare al ansamblului interior; 14 — piuliță de reglaj a spațiului dintre sabotul piesei [illegible] și umărul inferior al coroanei; 15 — rulmenți axiali de [illegible]; 17 — tub exterior; 18 — centror; 19 — ar[illegible]ator de probă.

3.3.3. COROANE SAU CAPETE DE CAROTIERĂ

Coroana, sau capul de carotieră, numită și *freză*, execută tăierea rocii pe spațiul inelar. Ea are forma unui cilindru gol, cu grosimea peretelui de 6—22 mm și cu înălțimea o dată sau de două ori cît diametrul coroanei.

Coroana este prevăzută la capătul de sus cu un filet dreptunghiular (dreapta) și cu opt spire pe țol, pentru a se putea înșuruba la tubul carotierei, iar capătul de jos este netăiat sau prevăzut cu dinți pentru a se putea fixa armătura respectivă.

După natura rocilor în care se sapă și după sistemul de foraj, se disting (fig. XI.65 *a, b, c, d, e, f* și *g*)

- coroane armate cu aliaje dure (carburi metalice);

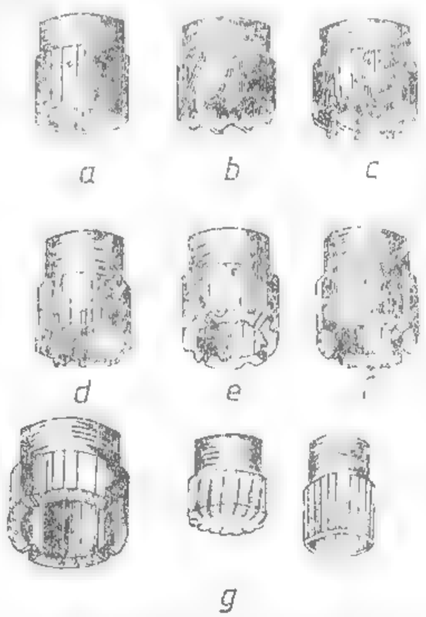


Fig. XI.65. Coroane de carotiere:

a — nearmată; *b* — dințată nearmată; *c* și *d* — armate cu aliaje dure; *e* și *f* — armate prin ciocănire și sudură; *g* — cu inserții de diamante.

coroane cu diamante;

coroane cu armătură mixtă (carburi metalice și diamante).

Coroanele se construiesc de obicei din burlane de oțel cu rezistența la rupere pe 40 daN/mm², cu un conținut de carbon de 0,3—0,4%.

Dimensiunile uzuale ale coroanelor folosite în forajul de explorare sînt date în tabelul XI.9.

Tabelul XI.9

Date tehnice privind coroanele cu diamante, alezoare și carotiere

Simbolul carotierei	Simbolul coroanei	Diametrul tăietor al coroanei		Diametrul exterior al mansonului alezor
		Exterior, mm	Interior, mm	mm
A. Simple				
BSV	E	36	22	36,4
CSV	A	46	32	46,4
DSV	B	59	42 (40)	59,4
ESV	N	76	53	76,4
ESV	H	93	68	93,4
FSV	He	98	68	98,4
GSV	P	112	88	112,4
GSV	Pe	120	88	120,4
B. Duble				
EDV	N	76	44	—
FSV 1	H	93	60	—
GDV	P	112	78	—
C. Seria D-3				
AXD	AXD-3	47,6	28,7	48
BXD	BXD-3	59	40,9	59,1
NXD	NXD-3	76	52,2	76,1
NCD	NCD-3	93	61,1	93,4
D. Seria Q				
AQ	AQ	47,6	26,9	48
BQ	BQ	59	36,3	59,4
NQ	NQ	76	47,5	76,4
HQ	HQ	98	63,5	98,4

Față de dimensiunile arătate în acest tabel se admit toleranțe de ±20 mm. Aceste toleranțe sînt admise și pentru tăișurile aliajelor dure.

Pentru circulația noroiului la talpa găurii de sondă, coroanele sînt prevăzute cu mai multe canale interioare drepte sau înclinate.

a. **Coroane cu aliaje dure.** Coroana cu inserții de materiale dure este constituită dintr-o piesă cilindrică de oțel, prevăzută la partea superioară cu cep sau mufă pentru

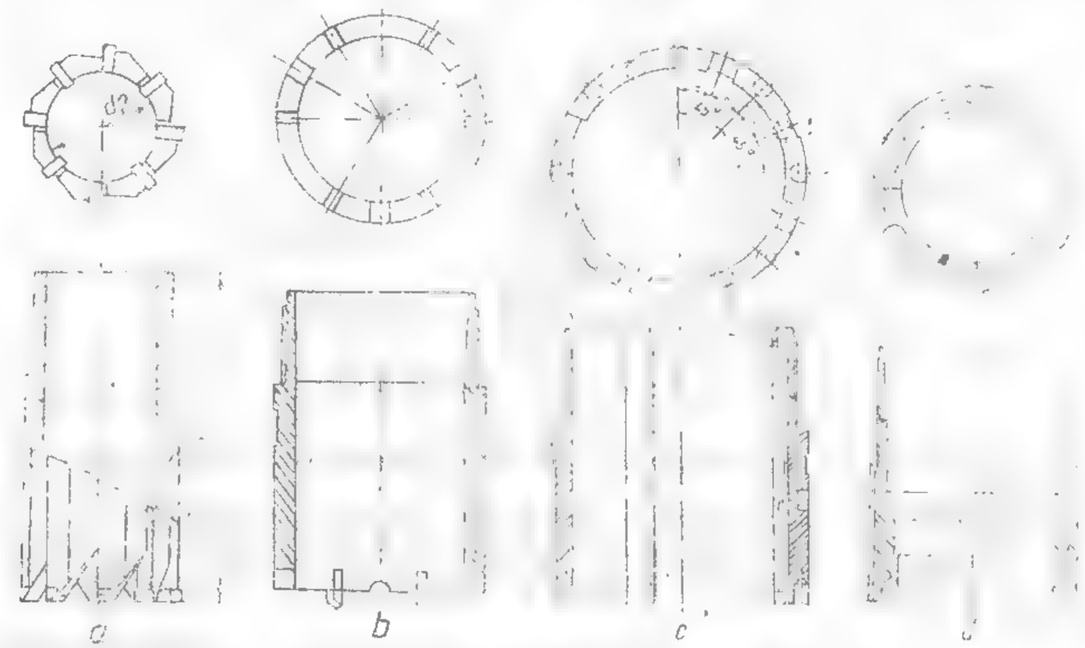


Fig. XI.66. Coroane de carotieră armate cu aliaje dure:

a — coroană cu paleți; *b* — coroană simplă cu plăcuțe inserate la distanțe egale; *c* — coroană simplă cu plăcuțe inserate în sectoare; *d* — coroană dublă model [illegible] cu deșănțare frontală și cu plăcuțe inserate în sectoare.

înfiletarea sa la carotieră — fie direct, fie prin intermediul unui niplu — iar la partea inferioară, o dantură — fie sub formă de paleți tăiați în corpul cilindric, fie locașuri cilindrice pe diametrul interior și exterior și pe care, respectiv în care, se fixează plăcuțele de aliaje dure (fig. XI.66). Prin canale tăiate pe fața frontală de atac la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele simple sau prin canale practicate în peretele coroanei la carotierele duble se asigură circulația fluidului de foraj la talpă.

Coroanele cu paleți se folosesc în roci de categ. I—IV, putînd avea 4, 6 sau 8 paleți, iar cele cu dantură insertată în roci de categ. IV—VIII.

Aliajele dure folosite pentru armarea coroanelor în forajul cu sondeze sînt aliaje metalo-ceramice. Plăcuțele de aliaje dure pot fi rombice, trapezoidale, dreptunghiulare sau octogonale (fig. XI.67).

Pentru aplicarea plăcuțelor de aliaje dure se marchează pe talpa corpului locașurile pentru plăcuțe, care se execută prin sfredelire sau prin pilire. Adîncimea locașurilor trebuie să fie astfel aleasă încît plăcuța să rămînă deasupra feței

coroanei, pe o porțiune care să permită ascuțirea ei. Lipirea se face cu aramă, în cazul cînd se dispune de un cuptor cu păcură sau electric și cu alamă, folosind pentru lipire lampa cu benzină.

Pentru rocile moi ascuțirea plăcuțelor se face la un unghi de 44—55°, iar pentru rocile mai tari și fisurate la un unghi de 60—65°.

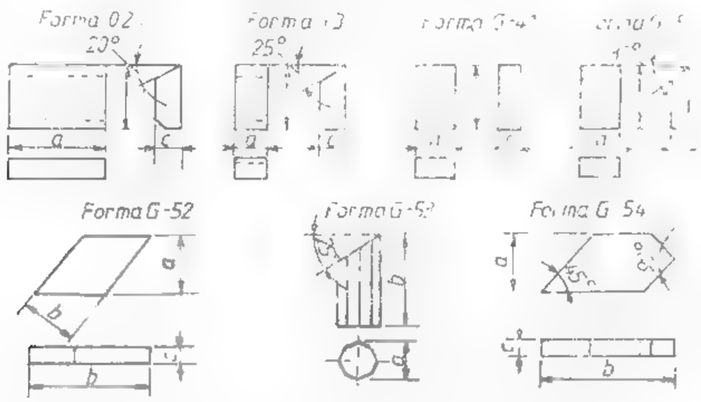


Fig. XI.67. Formele plăcuțelor aliajelor dure

Aliajele folosite în șantierele de explorare din țara noastră sînt de tipul widia și pobedit.

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice sînt date în tabelul XI.10.

În străinătate s-au confecționat în ultima vreme inserții dintr-un amestec de pulbere de diamant cu carburi metalice, în special de fier și wolfram, numite *Wiliamant*.

Tabelul XI.10

Caracteristicile inserțiilor de carburi metalice

Varietatea de Pobedit	Conținutul de metale rare		Proprietăți fizico-mecanice			
	Cobalt	Carburi de wolfram	Rezistența la încovoiere [daN/cm²]	Duritatea Rockowell (HRC) după scara C	Greutatea specifică [daN/dm³]	Corespondența cu varietatea de material dur după normele DIN
VK-2	2	98	100	90,0	15,0...15,4	
VK-3	3	97	100	89,0	14,9...15,3	H_1
VK-6	6	94	120	88,0	14,6...15,0	G_2
VK-8	8	92	130	87,5	14,4...14,8	G_1
VK-10	10	90	135	87,0	14,2...14,6	S_2
VK-11	11	89	150	86,0	14,0...14,4	—
VK-15	15	85	160	86,0	13,9...14,1	—

Carburile metalice se aleg în funcție de natura rocilor. Astfel, pentru forajul în roci moi și semitari (categoriile I—IV) se folosesc inserții de carburi metalice de forma G-413, G-414, G-514 și G-515, pentru forajul în roci tari (categoriile V—VI) inserții de forma G-511, G-512 și G-513, iar pentru roci foarte tari (categoriile VII—VIII) inserții de forma G-531 și G-533.

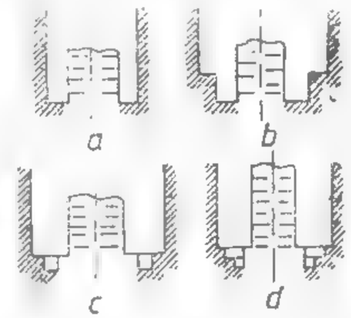


Fig. XI.68. Schema profilului tălpii găurii de sondă:

a — drept; *b* — cu două trepte; *c* — cu trei trepte simetrice; *d* — cu trei trepte.

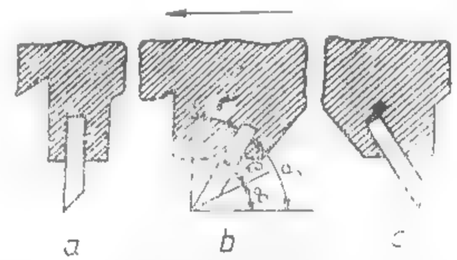


Fig. XI.69. Schema de fixare a inserțiilor în coroană:

a — inserție verticală; *b* — inserție înclinată sub un unghi pozitiv; *c* — inserție înclinată sub un unghi negativ.

Aliajele dure se insertează pe unul, două sau trei rînduri.

Elementele noi care au survenit în construcția coroanelor cu aliaje dure constau, pe de o parte, în folosirea inserțiilor de dimensiuni mici care realizează suprafețe mărginașe de tăiere mici și în consecință viteze mari de avansare, iar pe de altă parte, așezarea inserțiilor la diferite nivele față de capul coroanei, ceea ce permite crearea de suprafețe de tăiere în trepte, obținîndu-se în felul acesta o dislocare mai ușoară a rocii (fig. XI.68).

Un alt element este așezarea inserțiilor sub unghiuri negative (mai mari de 90°). În felul acesta inserțiile se distrug mai puțin și au o uzură mai mică. Unghiurile notate în figură au următoarea semnificație: δ — unghiul de tăiere; γ — unghiul de atac; α — unghiul de așezare a inserției și β — unghiul de ascuțire a inserției (fig. XI.69).

Regimul de foraj pentru coroanele cu aliaje dure. În forajul cu aliaje dure, corelarea apăsării pe talpă cu turația și cu debitul fluidului de foraj variază în limite foarte largi, în funcție de natura rocilor în care se forează. Variația acestor parametri în funcție de tăria rocilor este dată în tabelul XI.11.

Apăsarea axială totală. Este egală cu produsul dintre numărul de inserții al coroanei și forța de apăsare. Se recomandă ca apăsarea pe o inserție să fie mai mare decît produsul dintre suprafața de contact a inserției cu roca și rezistența rocii la strivire. Dacă nu este îndeplinită această condiție, fie că se va produce o zgîriere a rocii și o uzură pronunțată a coroanei, fie că va avea loc o spargere și o desprindere a inserțiilor dacă apăsarea este prea mare. În fig. XI.70 se arată influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj.

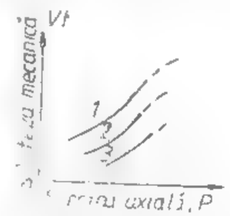


Fig. XI. 70. Influența apăsării axiale asupra vitezei de foraj:

1 — condiții ideale; 2 și 3 — cu spălare insuficientă.

În practica explorărilor de pînă acum s-a calculat apăsarea pe talpă de 100—120 daN pe un dinte în formă de placă la forarea în rocile mai tari și de 50—80 daN pe un dinte la forarea în roci de tărie mijlocie. În roci moi, argiloase, apăsarea pe un

dinte scade și mai mult. În tabelul XI.12 este dată valoarea apăsării axiale necesară în forajul cu carburi metalice în funcție de diametrul găurii și de tăria rocilor în care se forează.

Tabelul XI.11

Parametrii specifici ai regimului de foraj cu carburi metalice

Parametrul	În roci moi I—IV	În roci tari V—VI	În roci foarte tari VII
Apăsarea pe un dinte, daN	40—60	80—100	120
Viteza periferică m/s	1,5—2,00	2,0—1,5	1,0
Debitul fluidului de foraj [illegible] pentru 1 cm din diametrul [illegible] în de carotieră	[illegible]	14—12	12—[illegible]

Turația și viteza medie periferică a coroanei se stabilesc cu relația:

$$\left(\frac{D+d}{2}\right)n \quad [m/s]$$

în care: D este diametrul exterior de tăiere al coroanei, m;

d — diametrul interior de tăiere al coroanei, m;

n — turația garniturii, m/min;

v — viteza medie periferică a coroanei, m/s.

Viteza periferică ce se recomandă pentru coroanele cu aliaje dure variază între 1 și 2 m/s, după natura rocii, așa cum rezultă din tabelul XI.13.

Tabelul XI.12

Apăsarea axială necesară din forajul cu carburi metalice

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categoria de tărie a rocilor I—IV	V—VI	VII
46	[illegible]	300—350	400
59	[illegible]	350—400	500
[illegible]	[illegible]	480—600	750
93	—	650—800	1000
98	250—350	—	—
112	[illegible]	800—1000	1200
120	400—600	[illegible]	—
152	[illegible]	1200—1400	1500

Influența turației asupra vitezei mecanice. Din încercările de laborator, în care [illegible] și debitul de spălare s-au menținut constante și turația a fost variată astfel în [illegible] viteza periferică să fie de 50—360 cm/s, rezultă că

— adâncimea de pătrundere se menține, practic, constantă cînd [illegible] (turația critică) uzura crește mult mai repede decît [illegible]

Influența debitului de noroi asupra vitezei mecanice. La [illegible] fără carotaj, viteza de foraj crește proporțional cu de[illegible] fig. XI.71. La forajul cu carotaj continuu, debitul necesar este mult mai mic, deoarece

— volumul de rocă dislocată este mai mic, cel mult 3/4 din volumul găurii de sondă.

În general, se recomandă ca cifră orientativă debitul de 10—12 l/min pentru un centimetru din diametrul coroanei.

În ultimii ani, pe santierele noastre s-a extins mult forajul cu diamante, prin care se realizează o viteză mecanică mult sporită față de forajul cu alice sau cu widia în rocile de categoriile VII—XII.

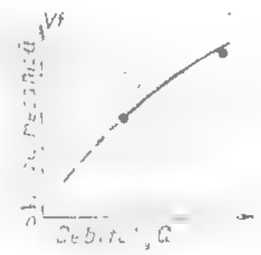


Fig. XI.71. Influența debitului de noroi Q, asupra vitezei mecanice de foraj

Valoarea debitului de fluid de foraj în funcție de diametrul coroanei și de tăria rocilor este redată în tabelul XI.14.

b. **Coroane cu diamante.** Coroanele cu diamante au ca elemente constructive (fig. XI.72):

— corpul de oțel *1* prevăzut cu filet la partea superioară

— matricea *3* în care sînt fixate diamantele *4* și care dă forma coroanei. Matricea este constituită dintr-o pulbere de material dur, rezistent la abraziune, din care se face o pastă în care se aplică diamantele și apoi se încălzește în cuptoare speciale la o anumită temperatură

Tabelul XI.13

Turația necesară la forajul cu carburi metalice [cm/s]

Diametrul exterior al capului de carotieră [mm]	Categoria de tărie a rocilor I—IV	V—VI	VII
46	—	800—600	400
59	—	600—450	300
76	—	500—375	250
93	—	400—300	200
98	300—400	—	—
112	—	—	175
120	250—300	—	—
152	—	250—150	125

miezul de oțel *2* care face legătura între corpul de oțel *1* și matricea *3*

Elementele funcționale ale capetelor de carotieră cu diamante sînt filetul de legătură *5*, pentru racordarea la carotieră, locașul *6* din corpul metalic al sculei, nut sau ondulații, marginea carotierei *7* (de calibrare), suprafața de tăiere *8* (sectoare cu diamante), canalele de circulație *9*, orificiile pentru descărcarea fluidului *10* și degajările *11*

După modul de aranjare a diametrelor pe fața frontală coroanele cu diamante pot fi

cu un singur strat de diamante;
cu mai multe straturi de diamante;
cu diamante impregnate (cu spărturi de diamante

Tabelul XI.14

Debitul de fluid necesar la forajul cu carburi metalice (l/min)

Diametrul exterior al capului de carotieră, mm	Categoria de tărie a rocilor		
	I–IV	V–VI	VII
46	—	65–55	50
59		80–70	60
6	—	100–90	80
93	—	130–110	95
98	120–140		
112	—	155–135	120
120	140–160		
92	—	210–180	160

La executarea coroanelor cu diamante se folosesc diamante industriale. Există trei varietăți de diamante folosite în scopuri tehnice

varietatea *carbonado* sau *diamentul negru*;
varietatea *ballas*;
varietatea *boart*, *bort*, [illegible]

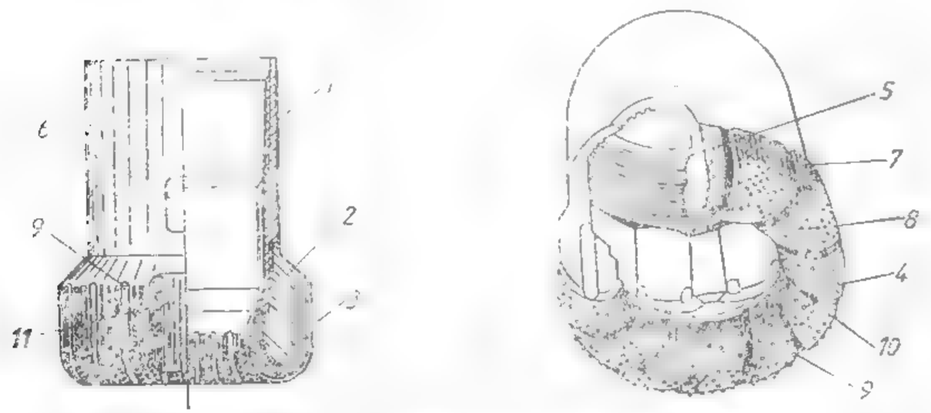


Fig. XI.72. Elementele constructive și funcționale ale coroanei cu diamante

Diamantele *carbonado* sînt lipsite de porozitate și clivaj și se caracterizează prin rezistență mare la uzură și la scoviri. Se utilizează pe scară redusă la foraj și numai în cazul rocilor foarte tari și abrazive, fiind foarte scumpe.

Diamantele *ballas* sînt de asemenea lipsite de porozitate și se prezintă sub forme aproape sferice. În jurul miezului au un învelș tare, ce le face apte pentru forajul în roci tari și abrazive.

Diamantele *boart* sînt mai puțin rezistente decît varietățile de carbon și ballas. Denumirea de boart se dă pentru toate sorturile de diamante cu structură cristalină imperfectă și forme neregulate, nefolosite ca bijuterii. Reprezintă varietatea diamantelor

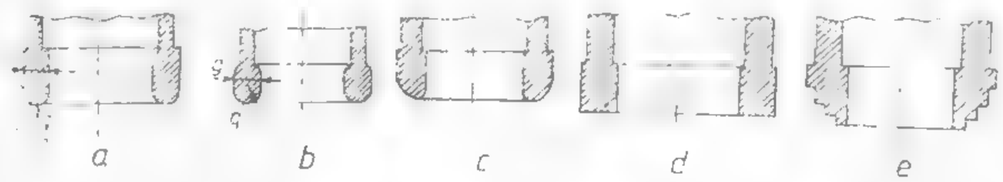


Fig. XI.73. Diferite profile ale coroanelor cu diamant

[illegible] mai largi utilizări în tehnica forajului. Se mai numesc și *boarturi sparte*. Sînt [illegible] și se pretează la fabricarea coroanelor impregnant.

Un element important în construcția coroanelor cu diamante este forma profilului coroanei (fig. XI.73). Cele mai folosite profiluri în forajul de explorare sînt

profilul rotund, cu raza de curbură aproximativ egală cu jumătatea grosimii peretelui coroanei (fig. XI.73, *a*);

profilul semirotund, cu raza de curbură a feței frontale egală cu grosimea peretilor coroanei (fig. XI.73, *b*);

profilul cupolă, cu o rază mare de rotunjire la exterior și mai mică la interior. Acest profil este indicat să fie utilizat la traversarea formațiunilor mai puțin tari și cu tendințe de deviere (fig. XI.73, *c*);

profilul plat, cu fața frontală plată și marginile ușor rotunjite. În terenurile abrazive diamantele se uzează repede, din care cauză apare și instabilitatea pe talpă și tendința de deviere (fig. XI.73, *d*);

profilul în trepte, cu forma în trepte a suprafeței frontale, fiecare treaptă depășind pe cea următoare cu cîțiva milimetri. Această formă asigură o bună centrare a carotierei pe talpă (fig. XI.73, *e*).

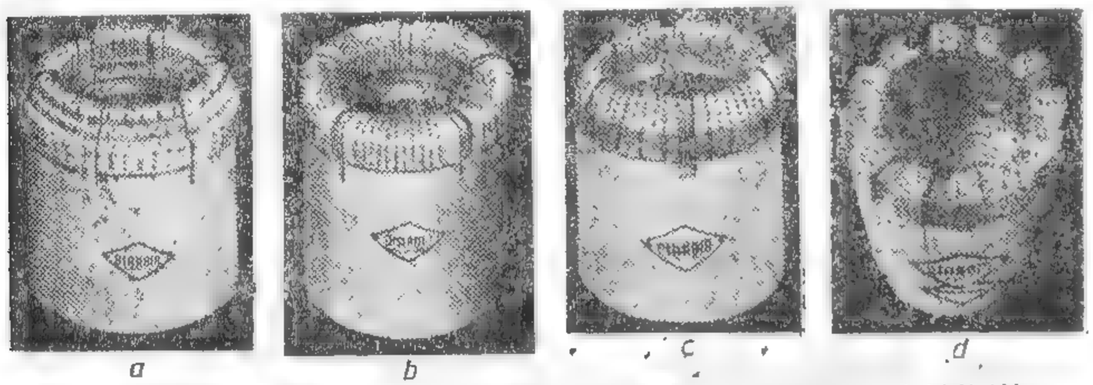
Aceste profile se confectionează și se utilizează în condiții specifice de lucru, [illegible] forajul în roci friabile, sfărîmicioase etc.

[illegible] coroanele cu vidia, coroanele cu diamante se construiesc pentru lucru [illegible] carotiere simple și carotiere duble. La coroanele pentru carotiera dublă circulația fluidului de foraj la talpa găurii de sondă se face prin orificii ce trec prin fața frontală [illegible] evitîndu-se în felul acesta spălarea probei de rocă la talpă.

[illegible] diamante se caracterizează prin diametrul exterior, diametrul [illegible] probei, [illegible] diamantelor, tăria matricei, profilul coroanei, numărul [illegible] și forma acestora, caratajul coroanei (greutatea [illegible] diamantelor [illegible] fost inserată coroana) și seria sa. În forajul de explorare [illegible] sondeze, cele mai des folosite sînt coroanele cu diametrul exterior de 37 mm, [illegible] mm, 59 mm, [illegible] mm [illegible] tabelul XI.15.

[illegible] fiecărei coroane este marcată fabricația coroanei (Diarom, Cris[illegible] prin litere se indică țara matricei și seria coroanei, [illegible] XI.72 se [illegible] tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație indigenă DIAROM.

În tabelul XI.15 sînt date tipurile de coroane și manșoane [illegible] diamante sau cu carburi metalice [illegible] dimensiunile acestora, conform STAS [illegible]



a b c d

Fig. XI.74. Tipuri de capete de carotieră cu diamante de fabricație DIAROM

a — coroană insertată cu profil în trepte; b — coroană insertată cu profil W; c — coroană insertată cu [illegible]; d — coroană insertată tip [illegible]

Procesul dislocării roților în forajul cu diamante și regimul de foraj. Procesul dislocării roților de către coroanele cu diamante se poate compara cu dislocarea prin așchiere, pe care o realizează frezele cu inserții cu unghi negativ. Date fiind dimensiunile reduse ale elementelor active, procesul de dislocare a roților de către coroanele cu diamante este, de fapt, o dislocare prin presare și zgîriere.

Asimilînd procesul de dislocare cu un proces de așchiere, fiecare diamant joacă rolul unui cuțit.

După experiențele efectuate în roci de natură diferită s-au trăs următoarele concluzii:

- viteza de avansare crește cu numărul de rotații n;
- consumul de diamante este minim cînd turația este în jurul a 1000 rot/min;
- o turație prea ridicată sau o apăsare prea mică este dezavantajoasă, deoarece se polizează diamantele fără a realiza o avansare corespunzătoare;
- viteza de avansare depinde de caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor traversate și este cu atît mai mare cu cît coroana conține mai multe diamante.

În fig. XI.75 este reprezentată variația vitezei în funcție de sarcina axială obținută la forajul cu coroane cu diamante în șisturi cloritoase.

După experiența din șantierele noastre, viteze bune de foraj se obțin [illegible] regim de foraj:

- apăsarea 11—25 daN/carat pentru coroanele monostrat și 50 daN/carat pentru coroanele polistrat;
- turația 100—880 rot/min;
- debitul 4—5 l/min de fiecare centimetru de diametru al coroanei.

Tabelul XI.15

Coroane și manșoane alezoare armate cu diamante sau cu carburi metalice

Simbolul diametrului nominal	Diametrul exterior max/min [mm]		Simbolul carotierei la care se utilizează coroana			
	Coroană	Manșon alezor	WF	WG	WM	WT
E	37,46	37,85		EWG	EWM	EWT
	37,22	37,50				
	46,10	46,50				
	4[illegible],90	46,30				
A	47,75	48,13	[illegible]	EWG	AWM	AWT
	47,50	47,88				
D	59,10	59,50	[illegible]		—	
	58,90	59,30	[illegible]			
B	59,69	60,07	[illegible]	BWG	BWM	BWT
	59,44	59,8[illegible]				
	76,10	76,50				
	75,90	76,30				
N	75,44	75,82	[illegible]	NWG	NWM	NWT
	75,18	75,56				
	93,10	93,50				
	92,90	93,30				
	112,10	112,50				
	111,90	112,30				
	120,2[illegible]	120,78	PWT			
	119,76	120,40				
	152,10	152,50				
	151,90	152,30				

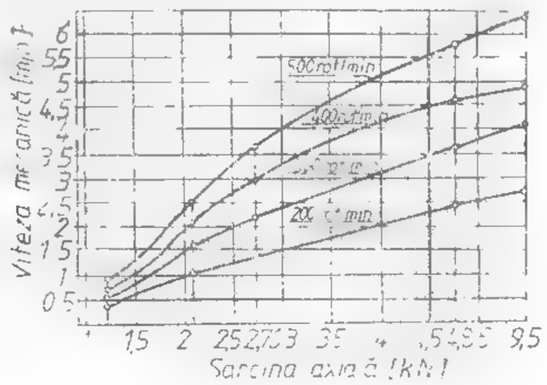


Fig. XI.75. Viteza mecanică în funcție de sarcina axială la forajul cu diamante în șisturi cloritoase.

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru coroanele cu diamante este dată în tabel [illegible] XI.16.

Consumul de diamante (uzura). Uzura coroanelor cu diamante se exprimă în [illegible] arate. Ea se datorește trecării și securilor. În terenuri omogene are loc uzura [illegible] trecare.

Tabelul XI.16

Valoarea orientativă a parametrilor regimului de foraj pentru coroanele cu diamante

Diametrul și tipul coroanei mm		Apăsarea [daN]		Turația [rot/min]		Debitul [l/min]	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
112 × 88	insertate	1000	2000	170	330	120	190
	impregnate	1400	2500	170	170	120	190
[illegible] 68	insertate	800	1700	210	410	75	110
	impregnate	1100	2200	210	410	75	[illegible]
93 × 40	insertate	1000	2200	210	410	75	110
	impregnate	1400	2400	210	410	75	110
76 × 53	insertate	700	1500	250	500	40	[illegible]
76 × 44	insertate	700	1500	250	500	45	70
	impregnate	1000	1800	250	500	45	60
59 × 42	insertate	600	1000	320	650	30	40
	impregnate	800	1300	320	650	30	40
46 × 32	insertate	500	800	310	820	20	30
	impregnate	700	1000	410	820	20	30

Apăsarea minimă este dată pentru coroanele cu diamante cu granulație mare și apăsarea maximă pentru coroanele cu diamante cu granulație mică.

Uzura prin socuri are loc atunci cînd se forează în terenuri eterogene fisurate cu alternanțe de roci tari și moi și în strate cu înclinare mare.

În afară de proprietățile fizico-mecanice ale rocilor prin care se forează, [illegible] coroanelor cu diamante mai este cauzată de construcția și metoda de executare a coroanei ca și de regimul necorespunzător de lucru.

În mod special, regimul necorespunzător de lucru conduce la o uzură prematură a diamantelor cauzată în principal de: necurățirea tălpii găurii de sondă [illegible] de începerea carotajului, lucrul excentric al coroanei pe talpă, vibrații, [illegible] carotierei cu viteză mare și izbirea ei pe talpă, arderea coroanei datorită lipsei de circulație a noroiului, folosirea unui noroi cu conținut mare de nisip etc.

Avantajele folosirii coroanelor cu diamante. Față de coroanele cu aliaje dure, cele cu diamante realizează o viteză mecanică de 2—3 ori mai mare, uzura diamantelor într-un timp mai îndelungat mărește durata de lucru pe talpă, dînd posibilitatea carotajului în marșuri lungi pînă la 6—8 m, asigură un recuperaj mult mai mare al carotelor; asigură o bună verticalitate a găurii de sondă, iar costul pe metru forat este mai mic ca urmare și faptului că după uzura coroanei diamantele rămase pot fi recuperate.

Alezoare și lărgitoare cu diamante. Deasupra coroanei sau sapei se interclasează în forajul cu coroane cu diamante, un *manșon alezor* care are rolul de a alezia gaura de sondă corectînd-o și calibrînd-o. În felul acesta se protejează coroana de uzură și diametrul exterior.

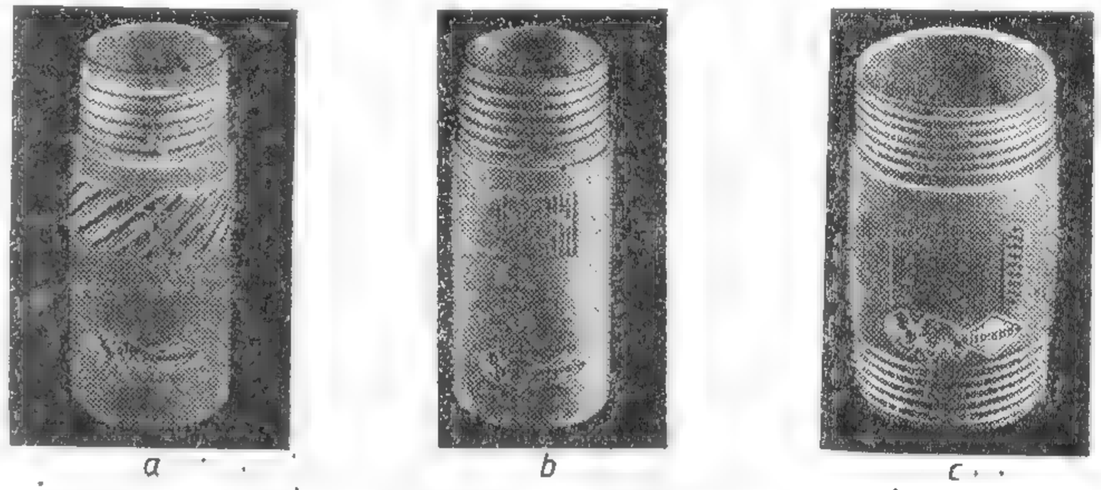


Fig. XI.76. Alezoare cu diamante

a — alezor cu inele insertate pe nervuri spirale; b — alezor [illegible] cu segmente

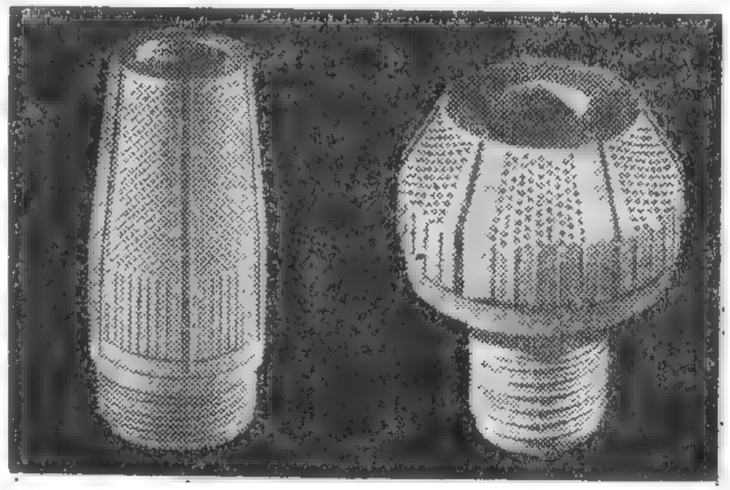


Fig. XI.77. Lărgitoare cu diamante.

Există mai multe tipuri constructive: *alezoare cu inele, cu segmente* etc. (fig. XI.76). Diametrul alezoarelor este dat în tabelele XI.9 și XI.15.

Lărgitoarele se utilizează în scopul lărgirii găurii de sondă, de la un diametru la altul. Ele pot fi conice, lungi, scurte etc. (fig. XI.77).

3.4. SPĂLAREA GĂURII DE SONDĂ. FLUIDUL DE FORAJ

3.4.1. ROLUL ȘI PROPRIETĂȚILE FLUIDULUI DE FORAJ

Curățirea continuă a tălpii găurii de sondă și evacuarea detritusului se face, în forajul rotativ, cu ajutorul fluidului de foraj. Pentru a putea îndeplini această funcțiune, fluidul pompat în gaura de sondă trebuie să țină în suspensie particulele de rocă, iar, când acesta a ajuns la suprafață să depună particulele pe fundul jgheaburilor astfel ca cel ce se pompează din nou în gaura de sondă să fie curat.

În afară de rolul de spălare și evacuare a detritusului, fluidul de foraj mai îndeplinește și alte funcții în procesul de foraj, ca:

- răcirea sapei sau coroanei în timpul lucrului;
- colmatarea pereților găurii de sondă;
- menținerea presiunii hidrostatice în gaură de sondă, necesară pentru a preveni ieșirea fluidelor libere de țiței, gaze sau alte fluide;
- lubrifierea garniturii de foraj, a lagărelor sapelor cu role sau a lagărelor carotierelor duble;
- înmuierea rocii în care se forează și ușurarea sfărîmării acesteia;
- reducerea frecării materialului tubular de pereții găurii de sondă.

În funcție de condițiile geologice, structura și textura rocilor traversate, prezența sau absența, presiunea și compoziția apelor traversate, condițiile de procurare a apei tehnologice, costurile substanțelor chimice și tehnologia de foraj adecvată pentru obținerea unui recuperaj și unei viteze de lucru maxime, se pot folosi următoarele fluide: apă; fluide pe bază de apă și produse sintetice (apă și poliacrilamidă, apă și biopolimeri etc.) sau naturale (bentonită de bună calitate); fluide (clasice) pe bază de apă și argilă; fluide negre (pe bază de produse petroliere — motorină și asfalt oxidat); ape; gaze; fluide spumate și aerate; apă aerată.

În timpul forajului elementele active ale uneltei tăietoare se uzează, ca rezultat al încălzirii excesive cauzată de frecarea dintre rocă și unealta tăietoare. Pentru a înlătura încălzirea și pentru ungerea garniturii de foraj și a elementelor active ale uneltei tăietoare este necesar să se stabilească debitul optim al fluidului de foraj, în funcție de forma și dimensiunile sculei tăietoare.

La ieșirea înspre suprafață prin spațiul inelar dintre pereții găurii de sondă și garnitura de foraj, noroiul colmatează pereții găurii de sondă, formînd o crustă subțire impermeabilă și destul de rezistentă care asigură o susținere a pereților găurii de sondă, împiedicînd surparea acestora și pierderea noroiului în straturile a căror presiune este mai mică decît presiunea noroiului.

Pereții găurii de sondă, ca urmare a presiunii litostatice, precum și a presiunilor din straturile traversate se surpă ușor și uneori provoacă prin lărgirea garniturii de foraj.

Fluidul de foraj prin greutatea sa asigură contrapresiunea necesară pentru pereții găurii de sondă, evitînd în acest fel surparea pereților găurii de sondă și pericolul ruptiunilor în cazul cînd în straturile traversate sînt înmagazinate fluide sub presiune.

În forajul de explorare, în mod obișnuit, se folosește ca fluid de foraj *noroiul de foraj*.

Prin componența sa, noroiul este un sistem compus din un mediu dispersant, format din apă și din fază dispersă discontinuă formată din particule

solide dispersate în apă (suspensoizi) și particule coloidale (coloizi), reprezentînd astfel un sistem eterogen polidispers, compus din minimum doi componenți: *argila* — faza dispersă și *apa* — mediul de dispersie.

În mod obișnuit noroiul rezultat din amestecul de argilă și apă conține particule solide mai mari, în stare de suspensie, numite *suspenzoizi* și particule fine numite *coloizi*. Acestea din urmă determină proprietățile de bază ale noroiului: greutate specifică, viscozitate, tixotropie, stabilitate, salinitate și conținut de nisip.

Determinarea acestor proprietăți se poate face direct la șantier sau în laborator.

Greutatea specifică a noroiului depinde de raportul dintre cantitatea de argilă și cantitatea de apă conținută în acesta. Ea reprezintă greutatea unui decimetru cub de noroi și se notează cu γ. Determinarea exactă a greutății specifice se face în laborator, cu ajutorul *picnometrului*.

Pentru determinarea în etapa a greutății specifice a noroiului se folosește *hidrometrul* (densimetrul). În astfel de aparat cu corp de sticlă, prevăzut la partea superioară cu o scală graduată, iar la ceea inferioară cu un paharel cu capac. După umplerea paharului cu noroi se închide capacul și apoi se introduce aparatul într-un vas cu apă. Diviziunea pînă în dreptul căreia areometrul este cufundat în apă indică greutatea specifică a noroiului (fig. XI.78). Pe șantier, pentru determinarea greutății specifice a noroiului este folosit cîntarul de noroi tip „Balanța" Sibiu (fig. XI.79). Se cîntărește un cilindru de tablă de 1—5 l, umplut cu noroi; greutatea dată de cîntar împărțită la numărul de litri de noroi dă greutatea specifică a noroiului. Un noroi obișnuit are o greutate specifică de 1,12—1,30 daN/dm³.

Fig. XI.78. Densimetru pentru noroi și ciment:
1 — corp cilindric; 2 — tijă gradată goală la interior; 3 — cilindru; 4 — recipient de abonament; 5 — capacul recipientului; 6 — abonament.

Valoarea presiunii exercitate de fluidul de foraj asupra pereților și a tălpii găurii de sondă, datorită greutății sale specifice, se determină cu relația

$$p = \frac{H\gamma}{10} \quad \text{daN/cm}^2,$$

în care: H este înălțimea coloanei de fluid, m;

γ — greutatea specifică a fluidului, daN/dm³.

Pentru creșterea greutății specifice a noroiului, creștere impusă de anumite condiții de foraj, se adaugă materiale de îngreunare, ca de exemplu baritină ($BaSO_4$) a cărei greutate specifică este de 4,2 daN/dm³.

Mărirea greutății specifice este necesară cînd presiunea exercitată de noroiul de foraj este insuficientă pentru a echilibra presiunea formațiunilor traversate și cînd trebuie mărită presiunea asupra pereților găurii de sondă pentru a împiedica surparea lor. Cantitatea de baritină sau de alt material de îngreunare se poate calcula cu relația

$$G = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_3 - \gamma_2}$$

în care G este cantitatea de material pentru îngreunat ce trebuie adăugată la noroi pentru a-i ridica greutatea specifică de la γ_1 la γ_2

γ — greutatea specifică inițială a noroiului ce trebuie îngreunat

γ_2 — greutatea specifică finală a noroiului

γ_3 — greutatea specifică a baritinei sau a altui material de îngreunare

V — volumul inițial al fluidului, dm³

În tabelul XI.17 este dată cantitatea de baritină necesară la 1 m³ de noroi pentru a-i mări greutatea specifică de la γ_1 la γ_2, calculată cu relația

$$G = \gamma_3 \cdot \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{\gamma_3 - \gamma_2} \cdot 1000 \ [\mathrm{daN/m^3}]$$

Tabelul XI.17

Cantitatea de barit necesară pentru a mări greutatea specifică γ_1 a unui metru cub de noroi la o greutate specifică de γ_2

		Kilograme de barit la 1 m³ de noroi										
		Greutatea specifică a noroiului după îngreunire, γ_2										
		1,30	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80
Greutatea specifică a noroiului înainte de îngreunire γ_1	1,00	439	522	607	696	788	884	984	1088	1196	1309	1426
	1,05	366	477	531	619	710	804	902	1004	1110	1221	1336
	1,10	296	373	456	542	631	724	820	920	1025	1134	1246
	1,12	220	298	380	464	552	643	738	837	940	1047	1158
	1,20	146	224	304	387	473	563	656	753	854	960	1069
	1,25	73	149	228	309	394	482	574	669	769	872	980
	1,30		75	152	232	315	402	492	586	683	785	89[illegible]
	1,35			6	155	236	322	410	502	598	698	80[illegible]
	1,40				[illegible]	158	241	328	418	512	611	713
	1,45					79	161	246	335	427	523	624
	1,50						80	164	251	342	436	534
	1,55							82	167	256	349	445
	1,60								84	1[illegible]1	262	[illegible]
	1,65									[illegible]	174	26[illegible]
	1,70										[illegible]	1[illegible]
	1,75											8
	1,80											—

Sînt și cazuri cînd se impune micșorarea greutății specifice, atunci cînd în gaura de sondă apar zone cu permeabilitate mare sau cînd în timpul forajului greutatea specifică a crescut peste limitele normale, prin mărirea conținutului de material detritic.

Scăderea greutății specifice se face la noroaiele pe bază de apă prin adaos de apă, humă și trassgel.

Cînd se impune o reducere și mai mare a greutății specifice se adaugă naftenat de sodiu de 1 [illegible] la greutate raportată la volumul de noroi. Noroiul pe bază de naftenat poate ajunge pînă la o greutate specifică de 0,85 daN/dm³.

Viscozitatea Prin vîscozitate se înțelege rezistența pe care o opune fluidul de foraj în curgerea sa. Această rezistență se datorește frecărilor interioare ce se nasc în timpul curgerii lichidului. Unitatea de măsură pentru vîscozitatea absolută este *poiseul* (P) sau submultiplul său *centipoiseul* (cP).

$$1 \text{ Poise} = \frac{1 \text{ dyne} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = \frac{1}{98{,}1} \left[\frac{\text{daN} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}\right]$$

Un centipoise reprezintă vîscozitatea absolută pe care o are apa la temperatura de 20°C. Noroiul de foraj are o vîscozitate absolută cuprinsă între 5 și 20 cP. Măsurarea vîscozității noroaielor se face cu ajutorul *vîscozimetrelor*. După principiul de funcționare se deosebesc *vîscozimetre de scurgere* și *vîscozimetre de rotire*. La primele — vîscozimetre de scurgere — se măsoară timpul în care se scurge o anumită cantitate de noroi printr-un tub de lungime și diametrul dat, iar la cele de rotire se măsoară rezistența opusă de noroi unui cilindru ce se rotește cu noroiul așezat în interiorul unui vas.

Vîscozimetrul de cîmp. Constă dintr-o pîlnie și o cană de măsurat. Pe șantierele noastre se folosește *vîscozimetrul pîlnie standard* cu dimensiunile din fig. XI.80.

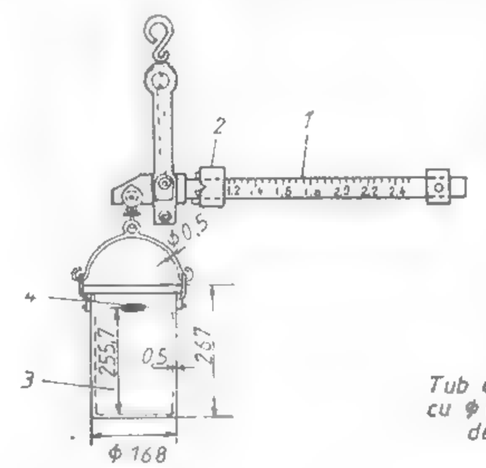


Fig. XI.79. Cîntar de noroi tip „Balanța Sibiu":

1 — braț gradat; *2* — greutate culisantă; *3* — vas pentru noroi; *4* — fereastră de nivel.

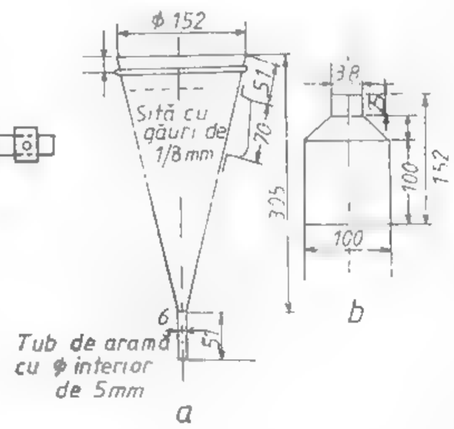


Fig. XI.80. Vîscozimetrul pîlnie standard:

a — pîlnie, *b* — cană de măsurat.

Se toarnă noroiul cu ajutorul cănii în pîlnia a cărui orificiu este închis, se așază cana goală sub pîlnie și se dă drumul noroiului să curgă pînă se umple cana. Numărul de secunde în care se scurge noroiul reprezintă vîscozitatea (aparentă sau relativă) a acestuia.

Vîscozimetrul de laborator. În laboratoare se folosesc vîscozimetre de tipul *Ștormer* sau SNS-2.

Cu ajutorul acestor viscozimetre se determină viscozitatea noroiului, folosind metoda scurgerii sub presiune a fluidului printr-o țeavă capilară care asigură o curgere laminară a acestuia.

Pentru calcularea indicelui de viscozitate se face în prealabil etalonarea aparatului cu apă distilată la +20°C.

Tixotropia. Este proprietatea noroiului de a se transforma în gel cînd este în repaus și din gel în fluid atunci cînd este pus din nou în mișcare.

Datorită acestei proprietăți particulele de rocă sînt împiedicate să se depună atunci cînd din diferite cauze se întrerupe circulația, iar cînd noroiul a ajuns la suprafață nu eliberează particulele de detritus.

Tensiunea statică a deplasării, adică mărimea eforturilor de deplasare care provoacă mișcarea noroiului din stare de repaus, arată gradul de densitate al structurii formate.

Pentru determinarea ei se folosește aparatul SNS-2 sau viscozimetrul de tipul *Mac Michel*.

Stabilitatea. Este proprietatea datorită căreia noroiul nu separă apa pe care o conține. Datorită acestei proprietăți noroiul își păstrează densitatea aproape constantă pe întreaga înălțime a găurii de sondă. Stabilitatea noroiului are mare importanță în procesul de foraj. Un noroi lipsit de stabilitate eliberează apa în timpul circulației și aceasta pătrunde în stratele traversate, producînd surparea pereților găurii de sondă.

Filtrația. Prin filtrație se înțelege fenomenul de cedare a unei părți din apa de constituție a fluidului de foraj prin pereții poroși ai găurii de sondă, sub influența diferenței dintre presiunea fluidului de foraj și presiunea fluidului din strat. Ca urmare a procesului de filtrare a apei libere din fluidul de foraj, pe pereții găurii de sondă se depune o crustă.

Determinarea filtrării noroiului se face măsurînd apa liberă separată de noroi sau filtrația acestuia.

Filtrația se determină în laborator cu următoarele aparate:

— cu filtru de noroi de joasă presiune la presiunea de 7 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.81);

— cu aparatul VM-6 la presiunea de 1 at și la temperatura mediului ambiant (fig. XI.82).

Un noroi de foraj corespunzător are filtratul de 8—12 cm³ în timp de 30 min și crusta (turta) de 1—2 mm.

Salinitatea. Conținutul în sare a noroiului, exprimat în procente, se numește salinitate.

La începutul forajului, noroiul are un conținut mic de sare, însă acesta poate crește brusc, în special atunci cînd se întîlnesc strate de apă sărată. Măsurarea salinității noroiului poate da indicații asupra adîncimii la care au fost întîlnite stratele respective, caracterului rocilor traversate și conținutului de cloruri și ioni de calciu, care influențează caracteristicile fluidului de foraj.

Conținutul de nisip. Determinarea conținutului procentual de nisip se face cu ajutorul unei fiole gradate, în care se toarnă 50 cm³ de noroi, peste care se toarnă apă pînă la nivelul gradației de 500 cm³ și se agită puternic. După trcerea unui minut se determină în partea de jos a fiolei, în centimetri cubi, cantitatea de nisip ce s-a sedimentat.

Determinarea conținutului de nisip se face de obicei prin următoarele metode: prin elutriere, prin cernere și elutriere, prin cernere și spălare pe sită.

Cunoașterea conținutului de nisip în noroiul de foraj este importantă întrucît o cantitate de nisip mai mare de 1% are o acțiune abrazivă puternică asupra instalației de foraj.

Indicele pH (potențialul de hidrogen). Este un parametru care dă informații asupra caracterului acid sau bazic al fluidului de foraj. El indică concentrația momen-

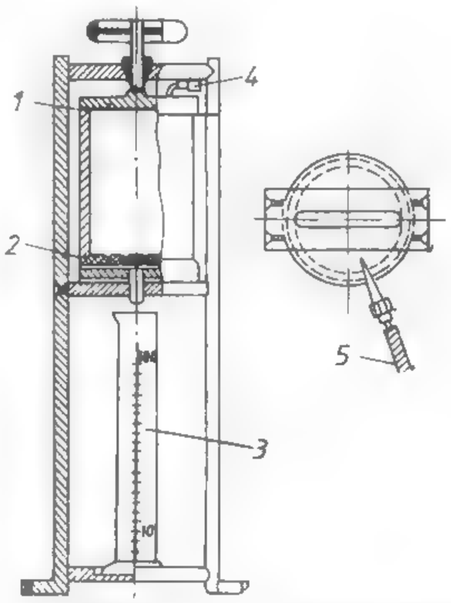


Fig. XI.81. Filtru de noroi de joasă presiune:

1 — garnitură; *2* — hîrtie filtru; *3* — cilindru gradat; *4* — legătură cu butelia de aer comprimat; *5* — furtun de aer comprimat.

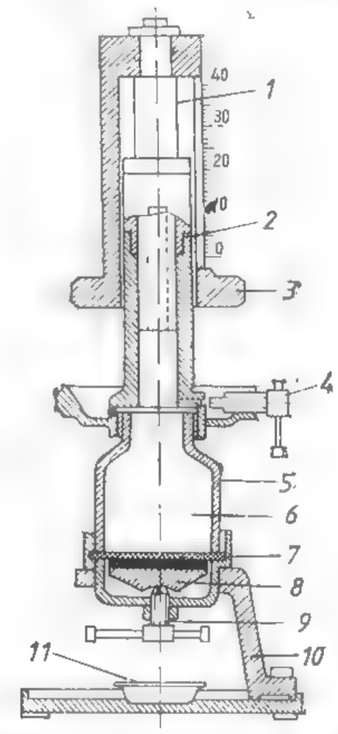


Fig. XI.82. Aparat de filtrare VM-6:

1 — piston; *2* — cilindru; *3* — scală gradată; *4* — robinet cu ac; *5* — celulă de filtrare; *6* — fluid de foraj; *7* — sită; *8* — supapă; *9* — șurub; *10* — suport metalic; *11* — vas de colectare.

tană în ioni liberi de hidrogen a soluției respective. O soluție este considerată acidă cînd are *p*H-ul < 7 și bazică cînd are *p*H-ul cuprins între 7 și 14. *p*H-ul se măsoară în laborator prin metode clorometrice sau electrometrice. Noroiul de foraj trebuie să aibă *p*H-ul mai mare de 7.

Factorii care influențează proprietățile fluidului de foraj. În timpul forajului fluidul de foraj (noroiul de foraj) își modifică caracteristicile inițiale datorită pe de o parte detritusului pe care îl transportă la suprafață și care prin fărîmițare se dispersează în masa fluidului într-o oarecare măsură, iar pe de altă parte datorită naturii și caracteristicilor formațiunilor traversate și a temperaturii ridicate din gaura de sondă.

Efecte de contaminare a fluidului de foraj au argila, sarea, gipsul, gazele și conținutul ridicat de nisip.

Creșterea conținutului de argilă determină creșterea viscozității și tixotropiei noroiului, făcîndu-l greu pompabil și mărind pericolul de prindere a garniturii de foraj.

La traversarea formațiunilor cu intercalații de gips sau anhidrit, creșterea conținutului de Ca produce, de asemenea, creșterea viscozității și a tixotropiei.

Sarea are, de asemenea, drept consecință modificarea viscozității, tixotropiei și a filtrației.

La traversarea formațiunilor nisipoase sau marnelor nispoase conținutul în nisip crește mărind abrazivitatea noroiului și permeabilitatea crustei de pe pereții găurii de sondă.

În cazul cînd greutatea specifică a noroiului de foraj este mai mică decît presiunea stratului, gazele pătrund în masa noroiului, mărind volumul acestuia și micșorîndu-i greutatea specifică.

3.4.2. PREPARAREA NOROIULUI DE FORAJ

Noroiul se prepară din amestecul argilei sau marnei cu apă în diferite proporții, sau cu amulsie de produse petroliere.

Amestecarea se face manual sau mecanic, cu ajutorul malaxoarelor de noroi sau în pîlnii identice cu cele folosite la prepararea laptelui de ciment.

Condiția ce se cere argilei sau marnei folosite este să fie plastică și curată, să nu conțină pietriș, nisip sau materii organice.

Pentru condițiile normale de lucru, noroiul se consideră satisfăcător cînd îndeplinește următoarele caracteristici:

- viscozitatea cuprinsă între 2 și 4 cP;
- filtrația în limitele 8—12 cm³/24 ore;
- decantarea în 24 de ore să nu fie mai mare de 5%;
- conținutul de nisip să nu fie mai mare de 2—3%.

Greutatea specifică nu constituie o proprietate determinantă a noroaielor. Noroaiele pot avea aceeași greutate specifică, dar pot fi complet diferite în privința proprietăților lor.

Caracteristicile medii pentru un fluid bun de foraj sînt date în tabelul XI.18.

În timpul forajului pot avea loc *pierderi de circulație* datorită porozității prea mari a rocilor străbătute, fisurilor, geodelor, golurilor subterane etc.

Pentru prevenirea pierderii de noroi se mărește viscozitatea noroiului prin adăugare de var, sticlă lichidă sau ciment.

În cazul pierderilor intense de noroi se întrebuințează *gelcimentul* — o soluție de ciment cu marnă foarte coloidală, adăugîndu-se 1 parte marnă la 100 părți ciment.

Pentru *prevenirea dărîmării pereților găurii de sondă* se stabilește un anumit regim de foraj care să asigure o viteză maximă de avansare și să înlăture pe cît posibil opririle neproductive, iar noroiul de foraj folosit să asigure tot timpul o presiune hidrostatică cu puțin mai mare decît presiunea stratelor străbătute. Este indicat să se folosească un noroi cu o viscozitate de 25—30 s, iar filtrația să fie în jurul a 100 cm³/24 ore.

Pentru îmbunătățirea calității și reglarea proprietăților lor în anumite limite, noroaiele se tratează cu diverși reactivi chimici. Astfel, un reactiv eficient pentru scăderea viscozității și filtrației noroiului este cel combinat din lignit, extras de sulfitceluloză și sodă caustică.

Tabelul XI.18

Caracteristicile medii pentru fluidul de foraj

Caracteristici	Fluide pe bază de masă					Fluide negre
	Cu apă și argile	Cu emulsie de produse	Cu amidon	Cu baza de silicat de sodiu	Cu baza de var	
Greutatea specifică, daN/cm³	1,15—1,20	1,10	1,15—1,20	1,45	1,15—1,20	0,90—0,95
Viscozitatea, s	30—35	54—55	80	mare	35—40	60
Filtrația, cm³	sub 12	10	5	12	5	maximă
Turta, mm	3	2	1	2	1	urme
pH	8—9	9—10	sub 11	13	12	—

Influența greutății specifice și a vîscozității noroiului. Apa satisface curățirea tălpii găurii de sondă, evacuarea detritusului și răcirea sapei numai în rocile compacte nefisurate (marmure, unele calcare, bazalte etc.), unde rezultă un detritus fin. Ea nu poate însă menține în suspensie particulele de detritus mai puțin fine în timpul opririi circulației, din care cauză are loc depunerea acestora și prinderea garniturii, și nu se realizează colmatarea pereților. Datorită acestor neajunsuri, în majorittea cazurilor apa a fost înlocuită cu noroi care, prin greutatea specifică și prin vîscozitatea sa deosebite de ale apei, satisface cerințele ce se ivesc în procesul de foraj.

Folosirea unui noroi cu o greutatea specifică și vîscozitate prea mari au un efect, dăunător asupra vitezei mecanice de foraj, se gazeifică ușor, se pompează greu și are tendința de a se lipi de prăjinile de foraj.

Pentru preîntîmpinarea acestor neajunsuri, practica a dovedit că este indicat să se folosească noroi cu o greutate specifică și vîscozitate mică.

Influența circulației asupra vitezei de foraj. O circulație necorespunzătoare a noroiului de foraj influențează viteza de foraj în sensul că roca neevacuată în totalitatea ei opune o rezistență suplimentară sapei, datorită căreia viteza mecanică de foraj scade.

Pe baza rezultatelor de teren s-a putut stabili o relație între debitul de noroi și viteza mecanică de foraj.

Relația este dată de formula:

$$v_m = \frac{Q}{a + b \cdot Q}$$

în care: v_m este viteza mecanică de foraj; Q — debitul de noroi; a și b sînt constante ce depind de proprietățile rocilor forate, debitul noroiului și dimensiunile spațiului inelar.

Tot pe bază de experiență s-a stabilit că la viteze mici ale curentului ascendent ($v = 0{,}45-0{,}50$ m/s), viteza mecanică de foraj crește proporțional cu Q, deci $v_m = f(Q)$.

Această relație este însă valabilă numai atunci cînd viteza curentului ascendent este de 0,5 m/s. S-a constatat că dacă Q este suficient pentru spălarea tălpii, mărirea lui în continuare influențează foarte puțin viteza mecanică v_m.

În afară de debitul de noroi, viteza mecanică de foraj, v_m, mai este influențată în mare măsură și de viteza noroiului de spălare prin orificiile sapei.

Experiențele arată că debitul Q accelerează mult forajul numai în cazul cînd orificiile de spălare sînt aproape de talpă, deoarece atunci jetul de noroi poate să atingă cu putere talpa găurii de sondă și să acționeze activ asupra ei. Pentru o spălare perfectă a tălpii găurii de sondă, jetul trebuie să exercite o presiune de 5—6 daN/cm².

În concluzie, viteza mecanică de foraj depinde foarte mult de gradul de spălare a tălpii de rocă forată. Spălarea intensă a tălpii se obține prin apropierea la maximum a orificiilor de spălare la talpă.

Substanțe folosite pentru corectarea proprietăților noroiului de foraj. Se folosesc:

Substanțe pentru îngreunare: baritina ($BaSO_4$) sub denumirea tehnică de *barită* este folosită în exclusivitate pe șantierele din România.

Substanțe reducătoare de viscozitate și de filtrare:

— *reactivul de lignit sau humatul de sodiu* — soluție coloidală obținută dintr-un amestec de lignit măcinat și o soluție de sodă caustică;

— *rășini sintetice solubile* — preparate din acizi crezosulfonici sau fenosulfonici și aldehidă formică;

coloizi organici: amidonul, nitratul de carbon din grupa polizaharidelor și carboxilmetilceluloza (CMC).

Substanțe rezistente la temperaturi înalte:

- lignosulfonatul de fier și crom sau ferocromlignosulfonatul (FCLS);
- lignosulfonatul de crom sau cromlignosulfonatul (CLS);
- humatul de crom (cromlignitul);
- poliacrilamida.

Substanțe alcaline și alcalino-pămîntoase;

- soda calcinată (Na_2CO_3) — se folosește la combaterea contaminării noroiului de foraj cu calciu și pentru ridicarea *p*H-ului;
- bicarbonatul de sodiu ($NaHCO_3$) — se folosește la combaterea contaminării noroiului cu ciment;
- soda caustică (NaOH);
- varul.

3.4.3. CURĂȚIREA NOROIULUI DE FORAJ, STABILIREA DEBITULUI ȘI PRESIUNII DE CIRCULAȚIE

Curățirea noroiului se face prin depunerea detritusului în sistemul exterior de circulație format din jgheaburi, batalele de decantare și de tragere.

O mai bună curățire se realizează cu ajutorul hidrociclonului, care se intercalează în sistemul de circulație a fluidului de foraj.

Debitul de circulație. La determinarea debitului de circulație trebuie să se cunoască programul de construcție al găurii de sondă, componența garniturii de foraj și viteza ascensională a noroiului. Pe baza experienței de șantier, viteza ascensională se ia de 0,3—0,6 m/s. Ea trebuie să crească odată cu creșterea cantității de detritus ce se află în curentul ascensional, ca urmare a creșterii vitezei mecanice.

Pentru calculul debitului de noroi se folosește relația:

$$Q_n = F \cdot V_a = \frac{3{,}14}{4}(D^2 - d^2) \cdot V_a = 0{,}785\, V_a(D^2 - d^2) \quad [\text{l/min}]$$

în care: F este secțiunea spațiului inelar, dm²,

V_a — viteza ascensională, dm/min;

D — diametrul găurii de sondă, dm;

d — diametrul exterior al prăjinilor de foraj, dm.

Presiunea de circulație. Noroiul este pompat în gaura de sondă cu o anumită presiune.

Căderile de presiune mai importante ce se produc în gaura de sondă sînt: căderi de presiune în carotieră sau sapă, în garnitura de foraj, în spațiul inelar și căderea de presiune ca urmare a diferenței între greutățile specifice ale noroiului în curent ascendent și descendent.

Aceste căderi nu trebuie să depășească presiunea pentru care este construită pompa de noroi. *Puterea de acționare a pompei* se calculează la presiunea maximă, cu relația:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{75\eta} \text{ [CP]}$$

în care: Q este debitul pompei, m^3/s;
H — presiunea, m H_2O;
η — randamentul pompei, 0,8—0,9;
γ — greutatea specifică a fluidului de foraj, daN/dm^3.

Volumul batalelor. Volumul batalului de decantare este de circa 1 m^3, iar volumul batalului de tragere se determină cu relația:

$$V = C \cdot V_s \text{ [m}^3\text{]}$$

în care: V_s este volumul găurii de sondă la adîncimea finală, m^3;
C — coeficient ce depinde de roca traversată și care are valori de 1,5—2.

Lungimea jgheabului. Se determină cu relația:

$$L = \frac{W}{b \cdot k} \text{ [m]}$$

în care: W este cantitatea volumetrică a particulelor de detritus depuse pe jgheab, m^3/min;
k — coeficientul capacității de curățire, egal cu 0,0003 m/min;
b — lățimea jgheabului, m.

În practică lățimea se ia de 20 cm, înălțimea de 15 cm, iar lungimea între 1,5—2 m.

Volumul batalelor trebuie să fie de două ori mai mare decît volumul găurii de sondă corespunzătoare adîncimii finale, iar lungimea jgheaburilor de circa 15m.

3.5. OPERAȚII DE MANEVRĂ ȘI MATERIAL TUBULAR

Operațiile de manevră constau în introducerea și extragerea garniturii de foraj pentru înlocuirea sapei sau coroanei de foraj precum și pentru extragerea caratelor și prelungirea garniturii de foraj cu noi prăjini, pe măsura avansării forajului.

Materialul tubular folosit în tehnica forajului constă din prăjini de foraj și burlane, cu elementele de legătură respective.

3.5.1. PRĂJINI DE FORAJ

Transmiterea energiei necesară săpării de la agregatele de forță la unealta tăietoare (sapă sau coroană) se face prin intermediul garniturii de foraj.

În tehnica forajului, ansamblul format din prăjina de antrenare, prăjinile de foraj, prăjinile grele, reducțiile, niplurile, racordurile și sapa sau carotiera formează *garnitura de foraj*.

Prăjina de antrenare. Face legătura între capul hidraulic și prăjinile de foraj și asigură transmiterea mișcării de rotație de la capul de rotire al agregatului de foraj sau de la masa totativă (în cazul forajului cu masa rotativă) la garnitura de prăjini.

După secțiunea părții de antrenare, prăjinile de antrenare (fig.XI.83) se fabrică din țevi laminate, în patru forme: cu partea de antrenare hexagonală, pătrată, triunghiulară și circulară.

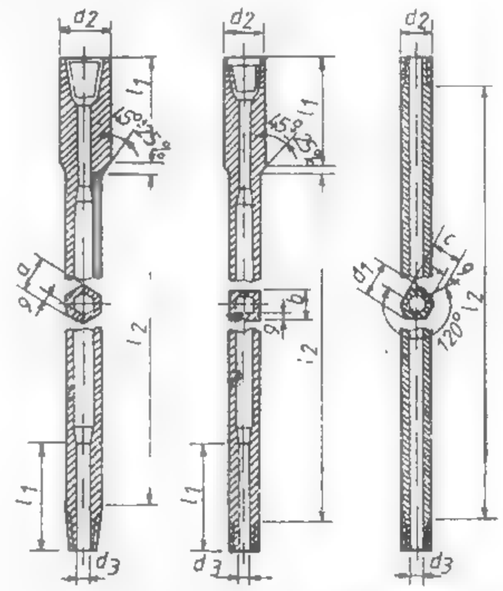


Fig. XI.83. Prăjini de antrenare din țevi laminate.

Lungimea prăjinii de antrenare este cu 1—2 m mai lungă decît a prăjinilor obișnuite de foraj.

În tabelul XI.19 se dau dimensiunile, în mm, a prăjinii de antrenate SzHT cep-cep 47, conform STAS 2606—80.

Tabelul XI.19

Prăjină de antrenare Sz HT cep-cep 47 STAS 2606-80

Forma prăjinii	Dimensiunea nominală a prăjinii de antrenare	a ±1%	d_2 ±1,5	d^3 ±1,0	g +25 %	l_1 min.	l_2 ±100	r*	Filete: La partea superioară	Filete: La partea inferioară
HT	47	4	64	22	10	220	5200	±4...60	Mufă R 50 st STAS5291-56	Cep

* r este raza de rotunjire a vîrfurilor secțiunilor hexagonală și pătrată.

Prăjinile de foraj propriu-zise. Se caracterizează prin diametrul exterior uniform, condiție necesară pentru ca acestea să poată trece prin dispozitivul de rotire al sondezei. Ele se fabrică în două tipuri:

— prăjini de foraj cu nipluri de legătură (fig. XI.84);

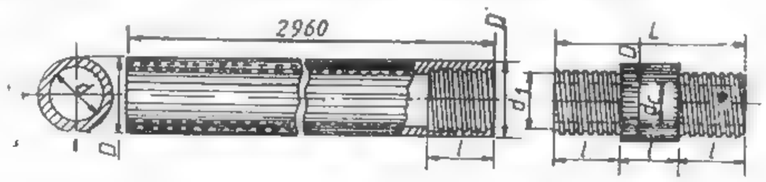


Fig. IX.84. Prăjini cu niplu pentru forajul cu sondeze.

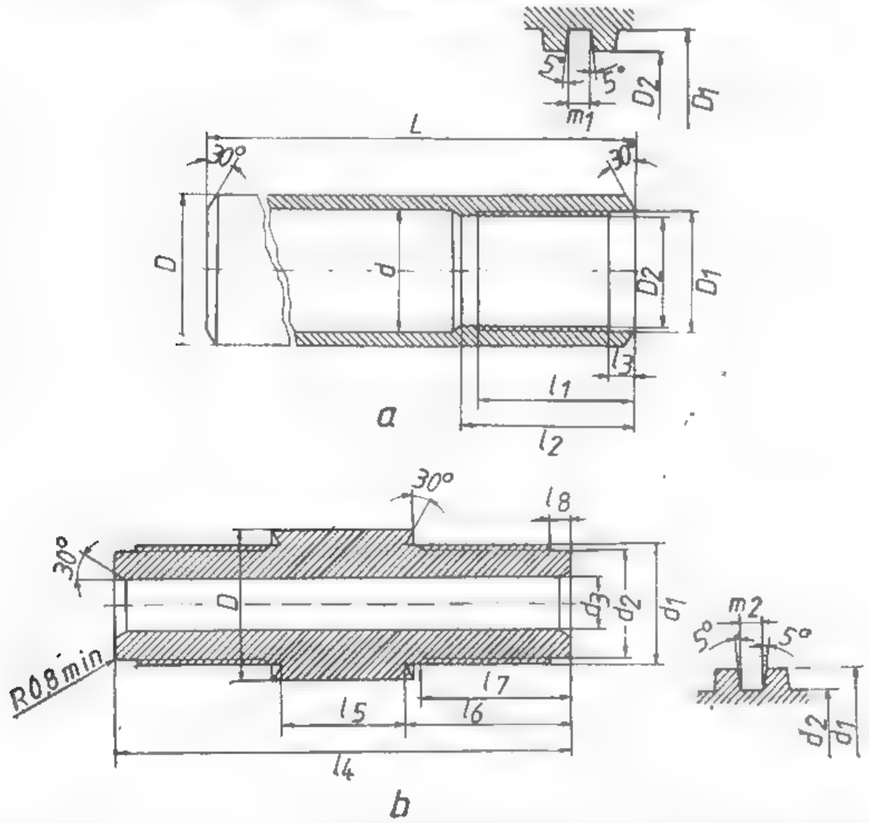


Fig. XI.85. Prăjină de foraj (*a*) și niplu de legătură (*b*) pentru sondeze (STAS din 1968/80).

— prăjini de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe de legătură normale și prin mufă și cep din corpul prăjinii.

Prăjinile de foraj cu nipluri sînt din seria W și au prevăzute la ambele capete mufe, asamblarea lor făcîndu-se cu ajutorul niplurilor. Niplurile sînt prevăzute la capete cu filet dreptunghiular cu patru spire pe țol, iar la mijloc cu două porțiuni dreptunghiulare (tăieturi) ce servesc ca locaș pentru cheile folosite la înșurubare și deșurubare (fig. XI.85).

Dimensiunile prăjinilor și niplurilor, conform STAS 1968—80, sînt prezentate în tabelele XI.20 și XI.21.

Niplurile de legătură sînt de tip A — cep-cep și de tip B — mufă-cep. În practică se recomandă folosirea combinată a niplurilor tip A și B, pentru a preveni uzura prematură a filetului de la mufa prăjinii, datorită înșurubărilor repetate în timpul operațiilor de introducere și extragere a garniturii de foraj.

Tabelul XI.20

Dimensiunile prăjinilor de foraj cu mufă la ambele capete, pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D	max.	27,89	35,05	43,89	54,23	66,93	89,28
	min.	27,76	34,92	43,64	53,98	66,68	88,90
d	max.	18,26	25,40	34,14	44,45	57,15	77,77
D_2	max.	18,95	23,95	31,88	38,94	51,71	72,24
	min.	18,90	23,90	31,83	38,89	51,66	72,19
D_1	max.	21,67	27,13	35,05	42,93	56,49	77,06
	min.	21,62	27,07	35,00	42,88	56,44	77,01
L	max.	3020	3015	3017	3004	3004	2991
	min.	3019	3014	3016	3003	3002	2990
l_1	min.	36,50	39,67	47,62	57,15	69,85	82,55
l_2	min.	39,67	44,45	54,00	63,50	76,20	90,47
l_3	max.	6,60	8,18	9,80	9,80	9,80	9,80
	min.	6,10	7,67	9,27	9,27	9,27	9,27
m_1	max.	3,18	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22
	min.	3,10	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Prăjinile de foraj cu racorduri speciale sau cu mufe sînt utilizate la forajul în carotaj mecanic continuu. Frecvent sînt folosite prăjinile cu diametrul de 50 mm, 60,3 mm și 73 mm (tabelul XI.22).

Ele se execută cu capetele îngroșate îmbinate prin racorduri speciale și la mufele prăjinilor (fig. XI.86).

Racordurile speciale (fig. XI.87) se compun din două piese:

— o mufă specială care are la un capăt un filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special interior pentru îmbinarea cu cepul special;

— un cep special prevăzut la un capăt cu filet normal interior pentru îmbinarea cu prăjina, iar la celălalt capăt un filet special exterior pentru îmbinarea cu mufa specială.

Dimensiunile racordurilor speciale sînt date în tabelul XI.23.

Tabelul XI.21

Nipluri de legătură pentru prăjini de foraj tip W pentru sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul					
		RW	EW	AW	BW	NW	HW
		Diametrul nominal					
		28	35	44	54	67	89
D'	max.	27,89	35,05	43,89	54,23	66,93	89,28
	min.	27,76	34,92	43,64	53,98	66,68	88,90
d_1	max.	21,56	26,97	34,90	42,77	56,34	76,91
	min.	21,51	26,92	34,85	42,72	56,29	76,86
d_2	max.	18,85	23,80	31,72	38,79	51,56	72,09
	min.	18,72	23,67	31,60	38,66	51,44	71,96
d_3	max.	10,57	11,35	16,13	19,30	35,18	60,71
	min.	10,19	10,97	15,75	18,92	34,80	60,32
l_4	informativ	95,2	117,5	133,4	165,1	190,5	225,5
l_5	max.	28,45	33,78	32,89	44,58	45,08	57,40
	min.	27,94	33,27	32,38	44,07	44,58	56,90
l_6	max.	33,78	42,21	50,65	60,63	73,08	84,43
	min.	33,27	41,71	50,14	60,12	72,57	83,92
l_7	min.	28,58	36,50	44,45	53,98	66,68	79,38
l_8	max.	1,83	5,00	6,60	8,18	9,80	9,80
	min.	1,32	4,50	6,10	7,67	9,27	9,27
m_2	max.	3,18	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22
	min.	3,10	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11
pași pe 25,4 mm		4	3	3	3	3	3

Tabelul XI.22

Caracteristicile prăjinilor de foraj utilizate la instalațiile de mică adîncime (sondeze)

Dimensiunea nominală [mm]		Diametrul Exterior [mm]	Diametrul Interior [mm]	Lungimea unei bucăți [mm]	Masa pe metru [kg/m]	Secțiunea [cm²]	Volum interior pe metru [dm]	Forța de tracțiune la $\sigma = 3000$ [daN/cm²]
73	Corp	73,0	59,0 54,	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6...13,7	12,85 16,47	14,5 18,43	2,7 2,2	43 500 55 290
	Racord	95,2	31,8	431	20	—	—	—
60,3	Corp	60,3	46,1	5,5... 7,2 8,2... 9,2 11,6...13,7	10,71	11,86	1,6	35 580
	Racord	79,4	25,4					
50	Corp Racord	50,0 64,0	37,5 27,0	3; 4,5; 6	7,75	8,63	1,09	25 890
50	Corp Niplu	50,0 52,0	39,0 22,0	1,5; 3; 4,5	7,0	7,85	1,1	23 550
42	Corp Niplu	42,0 44,0	32,0 16,0	1,5; 3; 4,5	5,2	5,82	0,78	17 460
33,5	Corp Niplu	33,5 34,0	24,0 14,0	1,5; 3; 4,5	3,4	4,29	0,44	12 870

Între prăjinile folosite în forajul cu sondeze figurează și cele și *pentru carotiera introductibilă* (fig. XI.88), care au diametrul interior mai mare și sînt netede (nu au ramforsări în interior și exterior), pentru a asigura manevrarea cu ușurință a tubului carotier. Ele fac parte din seria Q și sînt îmbinate prin mufă și cep din corpul prăjinii, prin filet conic cu profil trapezoidal. În tabelul XI.24 sînt prezentate dimensiunile prăjinilor din seria Q fabricate de firma suedeză Longyear și utilizate în țara noastră.

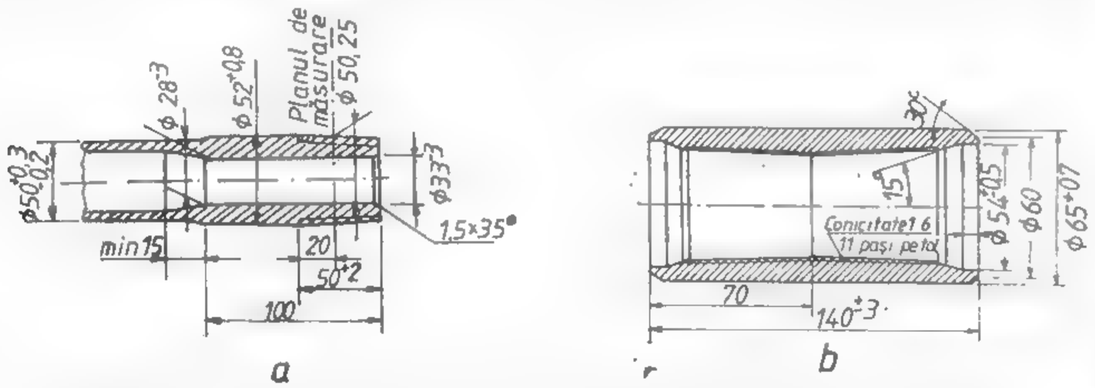


Fig. XI. 86. Prăjină de foraj pentru sondeze Ø 50 mm (*a*) și mufa ei (*b*).

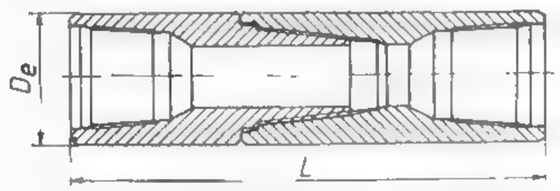


Fig. XI.87. Racord special (STAS 325—80)

Tabelul XI.23

Dimensiunile racordurilor speciale STAS 325-80

Diametrul nominal al racordului		Diametrul exterior al racordului [mm]	Lungimea racordului împerecheat [mm]
mm	in		
60,3	2 3/8 N	79,4	404
73,0	2 7/8 N	95,2	431
88,9	3 1/2 N	108,0	451
114,3	4 1/2 N	139,7	508
139,7	5 1/2 N	171,4	559
168,3	6 5/8 N	196,8	613
88,9	3 1/2 L	117,2	455
101,6	4 L	133,4	505
114,3	4 1/2 L	146,0	507
139,7	5 1/2 L	177,8	553
168,3	6 5/8	203,2	611

Prăjinile grele. În forajul rotativ întreaga garnitură trebuie susținută, deci supusă unor eforturi de tensiune, și numai o parte din greutatea ei, partea inferioară, trebuie să apese pe sapă, deci să fie expusă compresiunii.

În acest scop, între prăjinile obișnuite de foraj și sapă se intercalează prăjini grele (fig. XI.89), care servesc pentru apăsarea pe sapă, evitînd astfel compresiunea în prăjini.

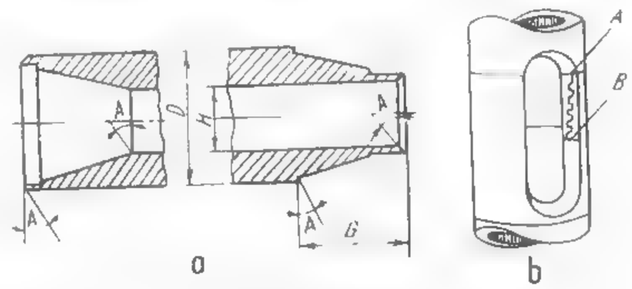


Fig. XI. 88. Prăjină din seria Q pentru carotiere introductibile:

a — prăjină (secțiune); *b* — vedere de ansamblu a îmbinării; *A* și *B* — punctele unde se nasc cele mai mari tensiuni în timpul forajului.

Tabelul XI.24

Dimensiunile prăjinilor din seria Q, fabricate de firma Longyear

		AQ		BQ		NQ		HQ	
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
D	maxim	1,756	44,60	2,197	55,80	2,760	70,10	3,510	89,15
	minim	1,750	44,45	2,187	55,56	2,750	69,85	3,500	88,90
H	maxim	1,381	35,08	1,818	46,18	2,380	60,45	3,071	78,02
	minim	1,375	34,92	1,808	45,92	2,370	60,20	3,062	77,79
G		1,625	41,27	1,750	44,45	1,750	44,45	1,750	44,45
A		15°		15°		15°		15°	

	ACQ		BCQ		NCQ		HCQ	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
Diam. exterior	1 3/4	44,5	2 3/16	55,6	2 3/4	69,9	3 1/2	88,9
Diam. interior	1 17/16	36,5	1 7/8	47,6	2 7/16	61,9	3 3/16	80,9
Diam. interior cep și mufă	1 3/8	34,9	1 13/16	46,0	3 3/8	60,3	3 1/16	77,8

Prăjinile grele pentru forajul cu sondeze se execută prin laminare la cald, din oțel aliat marca 40 Cr și OLT 65, direct sub formă de țeavă. După laminare, cu excepția celor cu diametrul de 70 mm, ele se îngroașă la capete și se filetează mufă-mufă sau mufă-cep. Dimensiunile prăjinilor grele utilizate în forajul cu sondeze sînt date în tabelul XI.25.

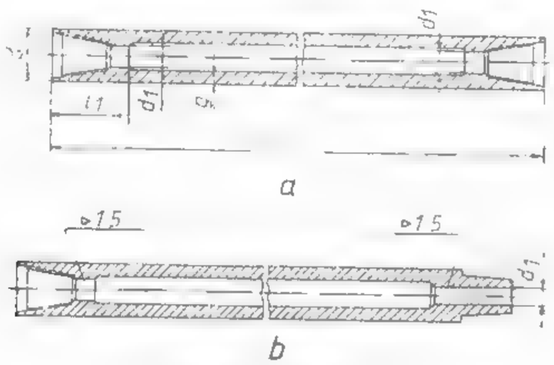


Fig. XI.89. Prăjină grea.

Reducții pentru garnitura de foraj. Reducțiile folosite în forajul cu sondeze sînt piese prin care se face legătura între diferitele părți ale garniturii de foraj, ca: prăjini de foraj și sapă sau carotieră; prăjini de foraj, prăjină de antrenare și capul hidraulic; prăjini de foraj și scule de instrumentație, prăjini grele etc.

Reducțiile pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze se execută în trei forme, conform STAS 5416—84:

— tip A — mufă-cep, tip B — mufă-mufă, tip C — cep-cep (fig. XI.90). Ele se fabrică din oțel aliat, prin forjare sau laminare.

Tabelul XI.25

Dimensiunile prăjinilor grele pentru sondeze

Dimensiunea nominală a prăjinii grele (diametrul exterior) [mm]	d ±1,5%	d_1 ±1	d_2 ±1	g −12,5%	l	l_1 min.	Filete	Masa [kg/m] min.
80	80	35	25	21	4000...5000	120	RS 1 23/8 STAS 325-75	29,5
95	95	43	31,5	21			RS 1 27/8 STAS 325-75	37,0

Solicitarea prăjinilor. Garnitura de foraj este supusă în timpul forajului unui complex de solicitări statice și dinamice. Solicitările statice sînt cauzate de greutatea proprie a garniturii de foraj și de momentele de torsiune, iar solicitările dinamice apar în timpul operațiilor de manevră, datorită accelerației masei garniturii de foraj în mișcare.

În procesul de foraj, sarcinile exterioare produse ca urmare a greutății proprii, a momentelor de torsiune ale forțelor centrifugale și ale forțelor perturbatoare provocate de acțiunea de dislocare a rocii de către unealta tăietoare, capătă uneori astfel de valori încît forma elastică a garniturii de foraj își pierde stabilitatea și apar zone de oboseală urmate de ruperi.

Rezultă că procesele de oboseală apar ca urmare a regimului de instabilitate statică și dinamică, consecință a regimului neuniform de tăiere și dislocare a rocilor de către unealta tăietoare și a celorlalți parametri definitorii ai regimului de foraj.

Redarea matematică a complexului de fenomene este foarte dificilă. De aceea, pentru analizarea lor se consideră în primul rînd stările simple de tensiune din elementele garniturii de foraj și apoi stările de instabilitate statică și dinamică, precum și oscilațiile mecanice ale garniturii.

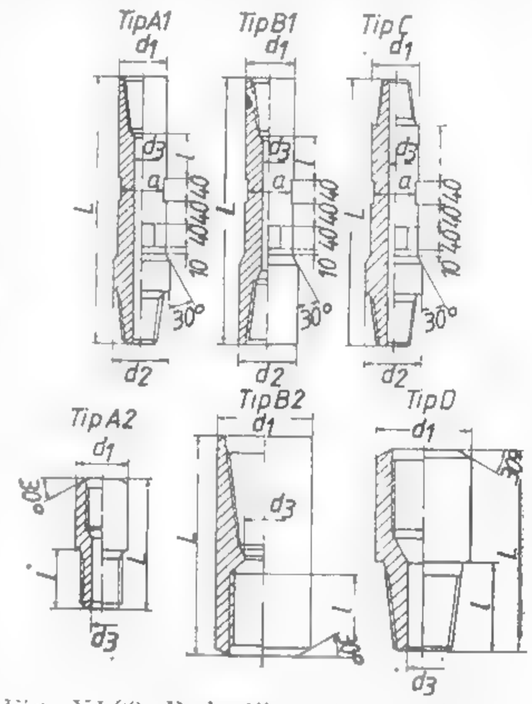


Fig. XI.90. Reducții pentru garnituri de prăjini de foraj pentru sondeze.

Controlul și îngrijirea prăjinilor. În timpul forajului prăjinile, în afara eforturilor care sînt supuse, se mai uzează și datorită circulației noroiului de foraj. Prin desele deșurubări și înșurubări, filetele speciale ale racordurilor se uzează și ele, modificîndu-și calibrul și dimensiunile, devenind improprii pentru lucru. Pe de altă parte, garnitura de prăjini în rotație se freacă de pereții găurii de sondă, în special în dreptul racordurilor, producîndu-se o uzură și o micșorare a diametrului exterior, din care cauză garnitura se rupe. Din aceste motive, după fiecare extragere trebuie să se facă un control amănunțit al garniturii, să se elimine mufele sau racordurile uzate, iar prăjinile ale căror pereți au suferit în urma corodării să se scoată din uz. Scoaterea din uz se face în urma cîntăririi prăjinii, prin care se constată greutatea cu care a scăzut. Dacă greutatea pierdută întrece limita prescrisă de norme, prăjinile se scot din funcție.

Pentru folosirea rațională a prăjinilor de foraj este necesară schimbarea periodică a poziției acestora în garnitură, astfel încît fiecare prăjină să lucreze un număr de ore aproximativ egal cu acela efectuat de celelalte prăjini și să ocupe succesiv, o anumită perioadă de timp, diferite poziții în componența garniturii de foraj. În aceste condiții se realizează o uzură uniformă a garniturii.

În afară de controlul făcut la sondă, prăjinile trebuie urmărite chiar la ieșirea din uzină în mod sistematic, sortate după calități și repartizate pe șantiere după gradul lor de uzură.

3.5.2. SCULE ȘI DISPOZITIVE DE MANEVRĂ PENTRU PRĂJINI ȘI BURLANE

Pentru manevrarea prăjinilor ca și pentru operațiile de tubaj se folosesc diferite scule: clești, chei, furci, căluș, elevatoare, șarniere etc.

Acestea se pot clasifica, după operațiile la care se utilizează, în:

— scule pentru înșurubarea și deșurubarea materialului tubular etc;

— scule și dispozitive de ridicat.

Scule pentru înșurubare și deșurubare. Din această categorie fac parte:

Cleștii, cheile pentru prăjini și cleștii pentru burlane. Cleștii pentru prăjini au o falcă ascuțită, iar cealaltă curbă, cu care se prinde prăjina. Deseori în locul cleștelui obișnuit se întrebuințează *cleștele reglabil* și *clești speciali cu falca articulată* (fig. XI.91, *a*).

Cleștii folosiți pentru coroane și manșoane alezoare de sondeze, conform STAS-ului în vigoare se execută în două tipuri:

tip I — clești cu știft (fig. XI.91, *b*) și tip II — clești cu fricțiune (gfi.XI.91, *c*).

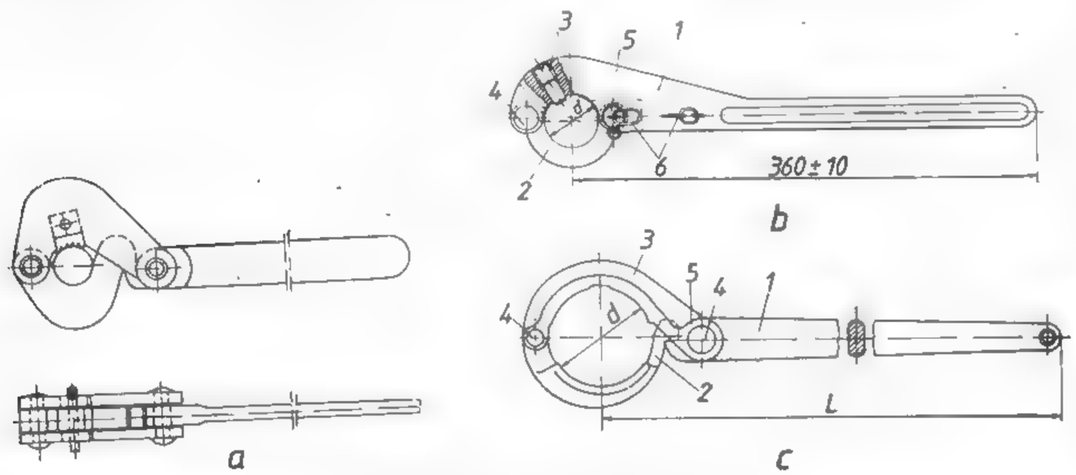


Fig. XI.91. Clești pentru sondeze:

a — clește special cu falca articulată pentru prăjini; *b* — clește cu știft (*1* — coadă; *2* — falcă inferioară; *3*—stift; *4* — nit; *5* — bolț; *6* — lanț); *c* — clește cu fricțiune (*1* — coadă; *2* — falcă inferioară; *3*—falcă superioară; *4* — bolț; *5* — inel).

Cheile pentru piulițe pot fi simple sau reglabile.

Cleștele cu lanț și cleștele cu șurub, pentru burlane, servesc la înșurubarea și deșurubarea burlanelor.

Scule și dispozitive de ridicare. Sculele și dispozitivele folosite pentru ridicarea garniturii sînt următoarele (fig. XI.92):

Furca pentru prăjini. Servește pentru suspendarea garniturii de foraj sau a burlanului de tubaj la gura sondei. Ea se așază sub mufa prăjinii sau a burlanului.

Elevatorul. Este folosit pentru ridicarea și coborîrea elementelor garniturii de foraj (fig. XI.92, *b*).

După modul de construcție se deosebesc: *elevatorul cu nipluri* (fig. XI.92, *b*), *elevatorul cu racorduri* (fig. XI.92, *c*) și *elevatorul cu cap* sau *suveiul* (fig. XI.92, *d* și *e*).

Tabelul XI.26

Caracteristici tehnice ale furcilor pentru prăjini

Dimensiunea nominală a prăjinii	Deschiderea furcii	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm	mm	kN	kg
33,5 N	27,5		8,3
42 N	32		9,5
50 N	37	120	9,6
50 RS	45		9,7
70	56		10
80	63		10
90	77		10

Elevatorul automat este prevăzut în interior cu bile ce culisează pe plane înclinate, avînd înclinarea spre interiorul dispozitivului.

Caracteristicile tehnice pentru furcă și elevator sînt date în tabelul XI.26 și respectiv tabelul XI.27.

Broasca cu pene. După extragere, prăjina se fixează în vederea deșurubării, cu ajutorul broaștei cu pene, care constă din bacuri de formă circulară, ce oscilează în jurul a doi pivoți de fixare. Pe partea interioară, bacurile sînt prevăzute cu dinți, care se înfig în prăjini în timpul fixării.

Tabelul XI.27

Caracteristici tehnice ale elevatorului pentru sondeze

Mărimea elevatorului	Raza de curbură a toartei	Raza de așezare a toartei	Deschiderea elevatorului	Lungimea elevatorului	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
mm					kN	kg/buc
33,5	26	10	28	475	10	5,300
42	26	12,5	33	500	30	7,700
50	26	17,5	38	520	80	16,200
50 RS	26	17,5	45	535	100	18,900

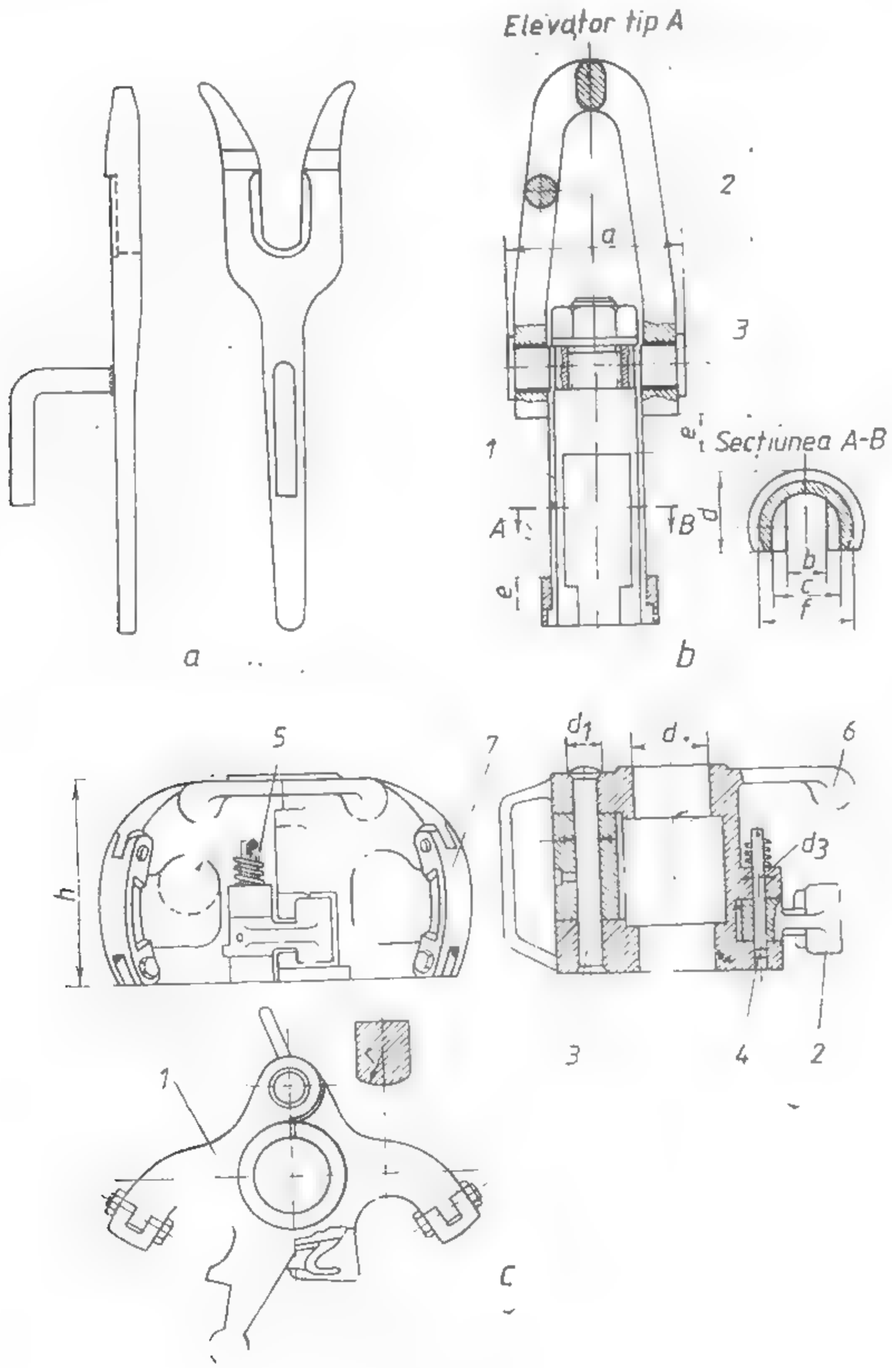


Fig. XI.92.

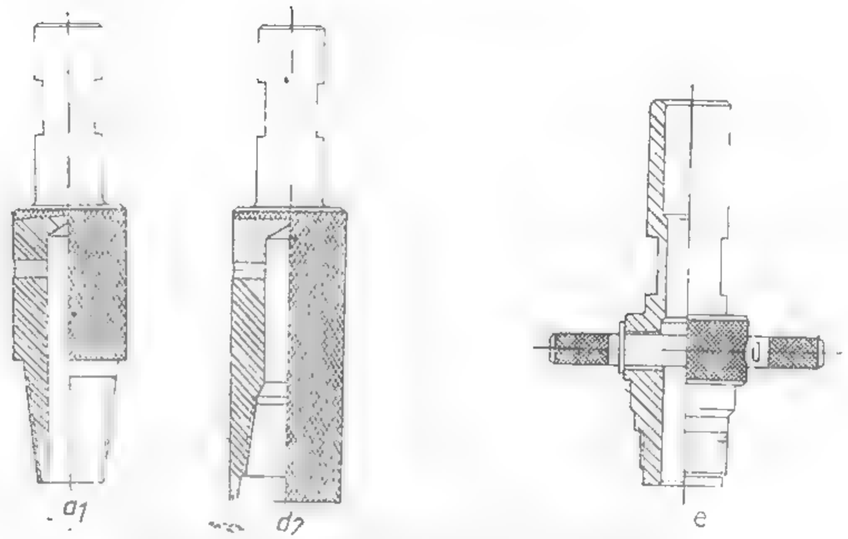


Fig. XI.92. Scule și dispozitive de ridicare:

a — furcă pentru prăjini; *b* — elevator pentru prăjini cu niplur. (*1* — corp, *2* — jug; *3* — axă); *c* — elevator pentru prăjini cu racorduri (*1* — corp; *2* — închizător; *3* — boltul principal, *4* — boltul închizătorului; *5* — arcul închizătorului; *6* — mâner, *7* — brațe de siguranță); *d* — suvei pentru manevrarea prăjinilor grele (*d1* — cu cep, *d2* — cu mufă); *e* — suvei pentru prăjini netede.

Broaștele cu pene pentru sondeze se execută în două tipuri:

— tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă acționată cu o pedală (fig. XI.93, *a*);

— tip PAM, cu pene articulate, acționate manual (fig. XI.93, *b*).

Fiecare din tipurile de broaște se execută în cîte două mărimi, funcție de sarcina maximă de lucru.

Caracteristicile broaștelor cu pene sînt date în tabelele XI.28 și XI.29.

Tabelul XI.28

Caracteristicile broaștelor cu pene tip P

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	*I*	*l*	*h*	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
P—3,2	28; 33,5; 35; 42; 44; 50; 51; 55,6	565	194	155	32	31,5
P—5	28; 33,5; 35; 42 44; 50; 54; 55,6 60; 66,7; 69,9; 80; 89	615	217	157	50	39,7

Capul hidraulic. Prin construcția sa, capul hidraulic asigură legătura între partea fixă a instalației, formată din geamblac și macara, și partea mobilă care este garnitura de foraj ce se rotește continuu. El are rolul de a susține garnitura de foraj și tot prin el trece noroiul de la pompa de noroi în prăjinile de foraj.

La unele instalații de foraj cu sondeze (instalația FS-1C), la care lipsește universalul sau masa rotativă — funcția de rotire a garniturii de foraj este realizată de capul hidraulic.

El este format dintr-o serie de piese (corpul, toarta, capacul) care nu se rotesc în timpul lucrului și o altă parte formată din piese care se rotesc (țeava de spălare și rulmenții).

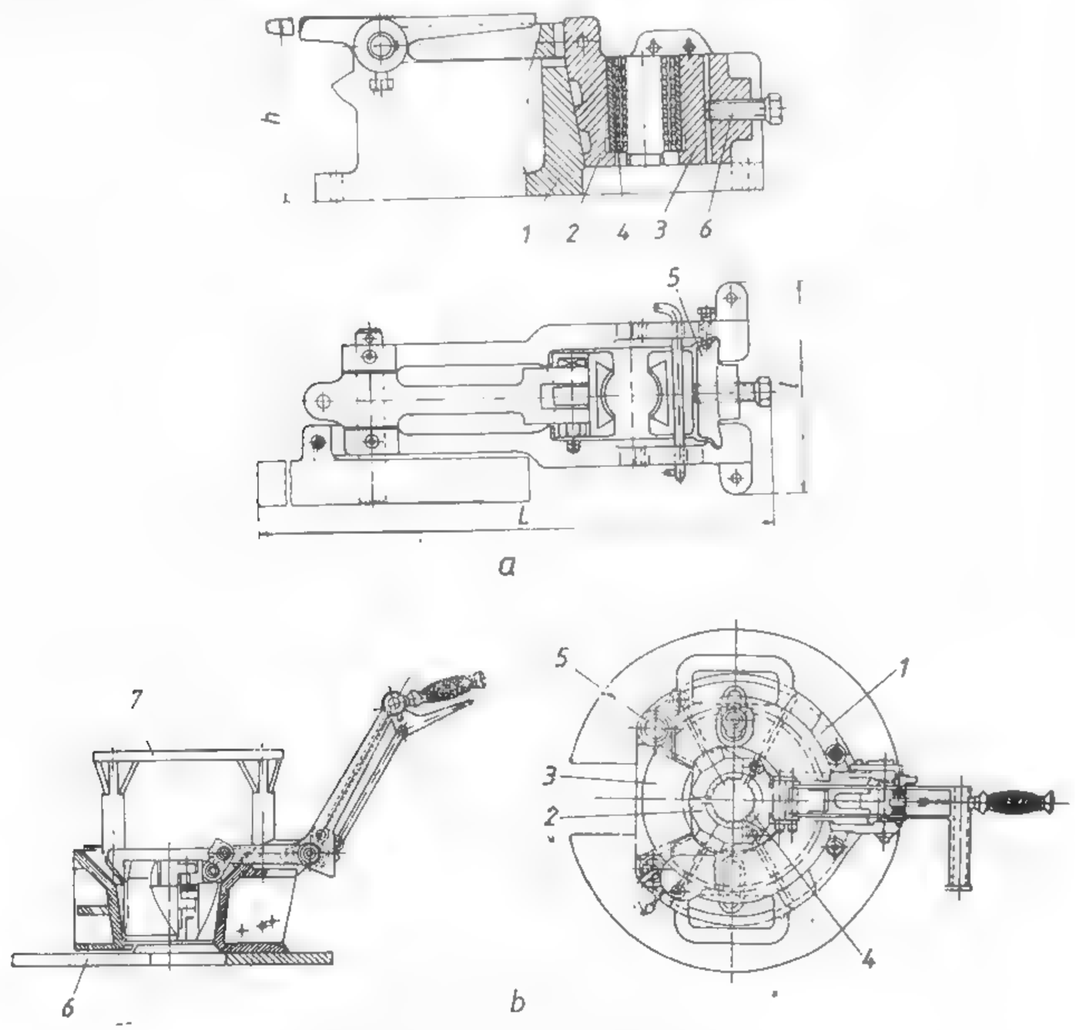


Fig. 2XI.93. Broaște cu pene:

a — tip P, cu o pană reglabilă și una mobilă (*1* — corp; *2* — pană mobilă; *3* — pană reglabilă; *4* — cuțit; *5* — punte; *6* — șurub de reglaj); *b* — tip PAM cu pene articulate (*1* — corp; *2* — pană; *3* — ușă; *4* — cuțit; *5* — bolțul ușii; *6* — placă de bază; *7* — apărătoare).

La partea superioară, capacul hidraulic este prevăzut cu o presgarnitură și o lulea de care se leagă furtunul de foraj.

Capul de jos al tubului central are o reducție cu filet stînga (normal și special) care se înșurubează în mufa prăjinii de antrenare. Filetul stînga protejează prăjina de antrenare, care se rotește la dreapta, de deșurubare în timpul forajului.

Tabelul XI.29

Caracteristicile broaștelor cu pene tip PAM

Tipul și mărimea broaștelor	Diametrele nominale de prindere [mm]	Sarcina maximă de lucru [kN]	Masa (informativă) [kg]
PAM-10	50; 54; 55,6; 60; 66,7; 69,9; 73, 80; 89	100	80
PAM-20	50; 60; 69,9; 73; 89; 108; 114; 127; 140	200	100

În funcție de metoda de lucru, capetele hidraulice sînt de două tipuri:

— tip ASz, folosite în cazul cînd în timpul forajului garnitura nu este suspendată de capul hidraulic (fig. XI.94, *a*);

— tip BSz, folosite în cazul suspendării garniturii în timpul forajului, prin intermediul capului hidraulic (fig. XI.94, *b*).

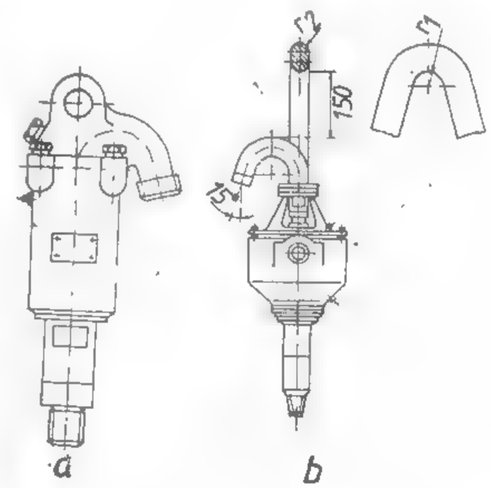


Fig. XI.94. Capete hidraulice.

Caracteristicile constructive ale celor două tipuri de capete hidraulice sînt date în tabelele XI.30 și XI.31.

Cablul de foraj. Face legătura între troliul de foraj, geamblac și macara. Unul din capetele cablului se leagă de toba granicului, iar celălalt capăt, după ce trece peste rolele geamblacului și ale macaralei, se leagă de turlă sau de macara. Cablurile folosite în foraj sînt cabluri rotunde, din sîrmă de oțel.

Ele sînt de două tipuri

- cablu construcție normală, ale cărui toroane sînt formate din fire de același diametru;

– cablu compound (compus), ale cărui toroane sunt formate din fire cu diametre diferite.

Tabelul XI.30

Caracteristicile capului hidraulic tip ASz

Simbolul capului hidraulic	Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Turația maximă fără sarcină, [rot/min]	Presiunea maximă de lucru [bar]	Filetul de legătură cu prăjina conform STAS 1968-69	Filetul de legătură a lulelei la furtun
(CH 1200 ASz)	—	—	1200	12	Sz EW	M22 1,5
CH 1500/1,2ASz	12	6,3	1500	16	Sz EW	M45×2
(CH2000/1,6ASz)	16	10	2000	25	Sz AW	M45×2
CH 1500/3,2ASz	32	20	1500	40	Sz BW	M45×2
(CH1400/5ASz)	50	32	1400	35	RS50 stg STAS 5291-56	M45×2
CH1500/5 ASz	50	32	1500	63	Sz BW	M45×2
CH1500/8ASz	80	50	1500	63	Sz BW	M85×6
(CH 800/10 ASz)	100	63	800	63	$2^3/_8$ N stg. STAS325-67	M85×6
CH1500/20 ASz	200	125	1500	100	Sz NW	MS5×6

Se execută din sîrmă de oțel mangan sau alte oțeluri superioare, cu grosimea firului de 0,2–5 mm.

Sistemul macara-geamblac. Ridicarea și coborîrea garniturii de foraj precum și susținerea ei în timpul lucrului se realizează printr-un sistem de scripeți ce se compune dintr-o parte fixă numită *geamblac* și o parte mobilă — *macaraua*. În cazul forajului de adîncime, la care se folosesc turlele de foraj, geamblacul se fixează în partea superioară a turlei.

Construcția geamblacului este în funcție de tipul de turlă (piramidală, mast, tripied) și de sistemul de înfășurare al cablului.

În cazu turlelor piramidale și al tripiedelor, geamblacul are rolele asamblate pe un singur ax (geamblac monoax sau monobloc).

La instalațiile de soudeze cu mast, la care agregatul de foraj se retractează și axa tobei este în același plan cu axa de retractare (SG-150; SG-300; SG-650) geamblacul este constituit din două role montate pe două axe (fig. XI.95). În acest caz una din cele două role are rolul de a conduce cablul respectiv.

Tabelul XI.31

Caracteristicile capului hidraulic tip BStz

Simbolul capului hidraulic	CH 5 BSz	CH 10 BSz	CH 20 BS	CH 32 BSz
Sarcina maximă de lucru, kN	50	100	200	320
Sarcina normală de lucru, kN	32	63	125	200
Sarcina dinamică echivalentă a rulmentului principal, $F_{ech.}$ kN	30	60	80	160
Turația maximă, rot/min	400	400	500	500
Filetul reducției de legătură cu prăjina	RS 50 stg. STAS 5291-56	M45×2	RSI $2^3/_8$ N	FI $2^7/_8$
Filetul de legătură a lulelei la furtun	RS 1–$2^1/_8$Nstg STAS 325-67	M 85×6	MS5	I.P$2^1/_2$
Diametrul interior al țevii de săpare min., mm	22	27	27	40
Raza de curbură a toarterei r_1, mm	40	45	45	76,20
Raza de așezare a toarterei r_2, mm	15	20	20	76,20
Presiunea maximă de lucru, bar	35	63	63	100

Geamblacurile se execută pentru sarcinile maxime indicate în tabelul XI.32.

Distanța dintre rolele geamblacului este egală cu distanța între rolele macaralei.

Macaraua este utilajul care face legătura între cablul care trece peste rolele geamblacului și cîrligul de care este suspendată garnitura de foraj prin intermediul capului hidraulic.

Macaralele se execută în două tipuri constructive:

– tip A, cu dispozitiv rotitor pentru suspendarea sarcinii (fig. XI.96, *a*);

– tip B, cu bolț pentru prinderea cîrligului (fig. XI.96, *b*).

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze sînt redate în tabelul XI.33.

La forajul cu sondeze, cînd se folosește trepiedul pentru susținerea garniturii și pentru operațiile de manevră, geamblacul este înlocuit cu *scripetele pentru geamblac* cu una sau două role. Acesta este suspendat de bolțul de legătură al trepiedului, prin intermediul unei piese speciale numită *biglul geamblacului*.

Tabelul XI.32

Caracteristicile tehnice ale geamblacului

Sarcina maximă de lucru [kN]	Sarcina normală de lucru [kN]	Numărul de roți pe axul principal	Diametrul exterior al roții principale și al roții de deviere, *d* [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
6,3	3,2	1	200	9
12	6,3	1	200	9
32	20	2	215	12
50	32	2	325	16
80	50	2	325	18
200	125	3	400	18
(16)	10	1	200	9
(50)	32	1	325	15
(70)	44	1	370	16

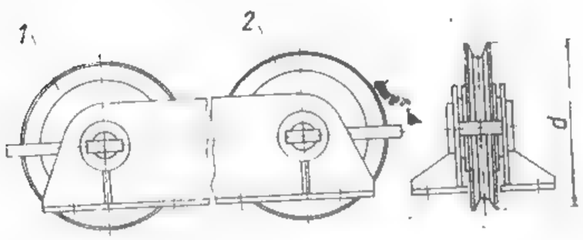


Fig. XI.95. Geamblac:
1 — roată de deviere; *2* — roată principală

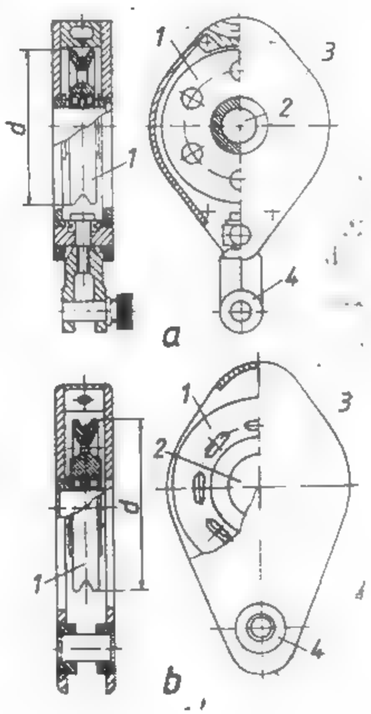
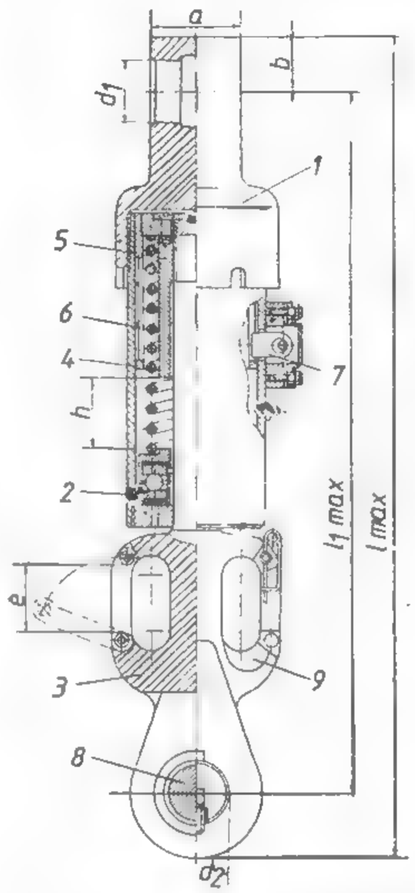


Fig. XI.96. Macarale:
a — tip A cu dispozitiv rotativ pentru prinderea sarcinii;
b — tip B cu bolț pentru prinderea cîrligului;
1 — role; *2* — ax; *3* — apărătoare; *4* — jug.



Cînd se lucrează cu trepied la sondezele mecanice, de rola geamblacului, prin intermediul cablului, se leagă rola cu cîrligul de foraj.

Cîrligul. Pentru foraj se folosesc cîrlige obișnuite formate dintr-un jug și corpul cîrligului (cioc), legate articulat. Ciocul poate fi îndoit sau drept.

Cîrligul utilizat la instalațiile moderne de sondeze se compune dintr-o parte fixă care se articulează cu partea superioară la macara, iar la partea inferioară are un rulment axial pe care se sprijină partea mobilă compusă din restul cîrligului (fig. XI.97).

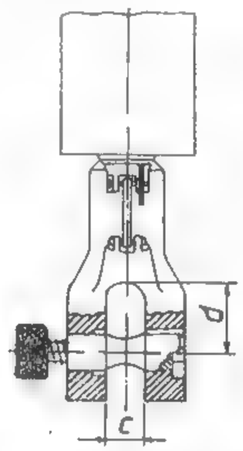


Fig. XI.97. Cîrlig:
1 — partea superioară care se articulează la macara; *2* — rulment axial; *3* — cîrligul propriu-zis; *4* și *5* — piese de sprijin a arcului; *6* — arc, *7* — piedică; *8* — bolț; *9* — umeri

Tabelul XI.33

Caracteristicile tehnice ale macaralelor pentru sondeze

Tipul macaralei	Sarcina maximă de lucru la cîrlig [kN]	Sarcina normală de lucru la cîrlig [kN]	Numărul de roți	Diametrul exterior al roții *d* [mm]	Diametrul nominal al cablului [mm]
A	32	20	1	215	12
	50	32	1	325	16
	80	50	1	325	18
	200	125	2	400	18
B	50	32	1	325	15

Caracteristica principală a cîrligului este sarcina pe care o poate suporta. Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze sînt date în tabelul XI.34.

Tabelul XI.34

Caracteristicile tehnice ale cîrligelor pentru sondeze

Mărimea cîrligului	Sarcina maximă [kN]	Sarcina inițială a arcului [N]	a	b	c	d	d_1	d_2	e	h	max. l	l_1 max.	r
C 5	50	920	66	42,5	10	80	50	50	45	55	615	553	15
C 10	100	1850	125	45	60	105	50	60	55	80	795	690	25
C 20	200	1850	125	45	60	105	50	60	50	80	795	690	30
C 25	250	1850	161	62,5	80	120	70	70	60	120	956	824	45

Furtunul pentru foraj. Legătura dintre conducta de impingere a fluidului de foraj și capul hidraulic se realizează printr-un furtun. El se execută din cîteva straturi de pînză cauciucată, avînd la mijloc o întăritură de sîrmă.

3.6. TUBAREA ȘI CIMENTAREA GĂURILOR DE SONDĂ

În cazul forajului de explorare prin formațiuni slab consolidate, friabile, pentru a preîntîmpina dărîmarea pereților găurii de sondă, aceasta se tubează, iar pentru a preîntîmpina comunicația între strate se execută izolarea acestora prin cimentare.

3.6.1. TUBAREA

În rocile eruptive și chiar în unele roci sedimentare, cum sînt gresiile, calcarele etc., pereții găurii de sondă se pot menține nesusținuți, însă în rocile slab consolidate, ca nisipuri, argile, marne, pereții găurii de sondă se surpă dacă nu sînt susținuți. Susținerea pereților găurii de sondă se face cu ajutorul burlanelor, operație care se numește *tubare*. Tubarea găurilor de sondă are ca scop uneori nu numai susținerea pereților, ci și izolarea stratelor între ele, cum ar fi izolarea stratelor acvifere așezate deasupra sau dedesubtul stratelor productive, sau se execută tubarea în scopul exploatării (la sondele de apă, sare, petrol, gaze).

La forajul de explorare cu sondeze mecanice, la care se extrag carote pe toată adîncimea găurii de sondă și apoi aceasta este părăsită, tubarea pe toată adîncimea găurii de sondă se face numai în cazuri rare. De obicei, la începerea forajului unei găuri, se introduce un burlan de $7^5/_8$ in sau $8^5/_8$ in, în lungime de 2—4 m care se cimentează. Rolul acestui burlan este de a consolida terenul la gura găurii sondei și de a servi la ghidaj pentru foraj, precum și pentru dirijarea noroiului de foraj. În cazul cînd rocile de la suprafață sînt mai puțin rezistente, acestea se susțin cu

burlane de diametru $5^3/_4$in pînă la adîncimea de 50 m, săparea făcîndu-se în continuare fără susținere.

În cazurile cînd formațiunile ce se forează sînt afînate pe porțiuni mari, atunci se face tubarea conform unui program de tubare cu burlane de sondeze, STAS 1967—80, prin care se stabilesc: numărul coloanelor ce se vor tuba; diametrele și adîncimile acestora; tipul și diametrul sapelor folosite; cimentările coloanei de tubare și înălțimea de cimentare a fiecărei coloane.

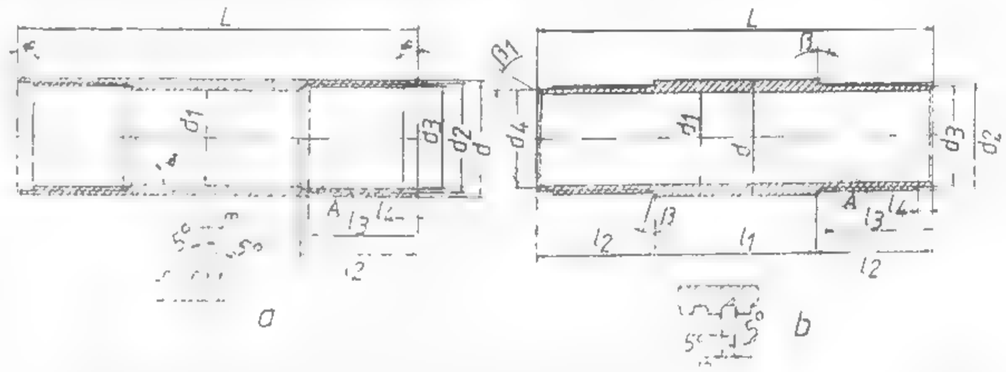


Fig. XI.98. Burlan (*a*) și niplu de legătură (*b*) pentru forajul cu sondeze

Factorii care intervin în stabilirea programului de tubare sînt de ordin geologic (natura rocilor traversate, deranjamente tectonice, caverne etc), tehnic (tipul instalației de foraj, rezistența coloanelor, adîncimea interioară a găurii de sondă etc.) și economic (costul forajului, costul burlanelor etc.). În afară de acești factori, mai trebuie să se țină seama de obiectivul urmărit prin foraj.

Tubarea se face cu *burlane cu filet, cu nipluri de legătură* tip X (fig. XI.98), care se execută din oțel aliat OLT 65, 44 Mn 11, și 43 MoMn 16. Tipurile și dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze și niplurile de legătură ale acestora, conform STAS 1967—80, sînt date în tabelele XI.35 și XI.36.

Burlanele folosite pentru tubare trebuie să aibă o mare rezistență, pentru a putea face față eforturilor la care sînt supuse. Ele trebuie să reziste la orice condiții de manipulare, la tracțiune sub greutatea proprie, la presiunea interioară și exterioară. La proiectarea tubării se folosește diagrama, din care se citesc direct grosimile burlanelor în funcție de adîncime, astfel că nu este nevoie să se calculeze fiecare coloană în parte.

Cele mai importante solicitări la care este supusă coloana de tubare sînt solicitările la întindere, solicitarea la presiunea exterioară datorită presiunii exercitate de greutatea fluidului în spatele coloanei cînd gaura de sondă este golită parțial sau total, ca și împingerii exercitate de unele strate din spatele coloanei, solicitarea la presiunea interioară datorită presiunii de zăcămînt, solicitarea la încovoiere datorită devierii de la verticală a găurilor de sondă și solicitarea la flambaj, cînd coloana se înțepenește în teren sau se sprijină pe talpa găurii de sondă.

Înainte de efectuarea tubării se fac o serie de lucrări pregătitoare care constau în verificarea întregii instalații, curățirea găurii de sondă, omogenizarea fluidului de foraj prin circulație și înlocuirea sculelor de manevră pentru prăjini cu cele pentru burlane (clești, elevatoare etc.). Pentru a conduce coloana de tubare în gaura de sondă, la primul

Tabelul XI.35

Dimensiunile burlanelor pentru forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
d	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 138,66
d_1	max. min.	50,80 50,55	65,07 64,82	80,95 80,57	104,78 104,39	130,51 125,30
L	max. min.	2974,54 2973,02	2962,81 2961,28	2962,81 2961,28	2950,72 2949,19	2948,94 2947,42
α		30°	30°	30°	30°	15°
d_2	max. min.	54,05 54,00	68,33 68,28	84,20 84,15	108,48 108,38	133,65 133,53
d_3	max. min.	52,45 52,40	65,94 65,89	81,81 81,76	106,04 105,97	131,24 131,14
l_2	min.	57,15	60,32	66,68	63,50	69,85
l_3	min.	53,98	57,15	63,50	57,15	66,68
l_4	max. min.	6,60 6,10	6,60 6,10	6,60 6,10	8,13 7,62	9,78 9,27
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Pași pe 25,4 mm	—	8	8	8	5	5
δ	—	—	—	—	—	30°

Tabelul XI.36

Dimensiunile niplurilor de legătură pentru burlane folosite la forajul cu sondeze

Dimensiunea	Limite	Simbolul				
		AX	BX	NX	HX	PX
		Diametrul nominal [mm]				
		57	73	89	114	140
l	max. min.	57,40 57,15	73,28 73,02	89,28 88,90	114,68 114,30	140,74 133,66
d_1	max. min.	48,67 48,41	60,58 60,32	76,58 76,20	100,38 100,00	127,38 122,30
L		177,80	196,85	209,55	215,90	228,60
l_1	max. min.	74,47 73,96	86,24 85,70	86,21 85,70	98,30 97,79	100,08 99,57
d_4	max. min.	50,67 50,04	64,14 63,50	80,01 79,38	104,27 103,63	129,41 128,78
β	max.	30°	30°	30°	30°	15°
β_1		30°	30°	30°	30°	30°
d_2	max. min.	53,95 53,90	68,22 68,17	84,10 84,05	108,30 108,23	133,45 133,38
d_3	max. min.	52,35 52,22	65,84 65,71	81,71 81,58	105,89 105,76	131,06 130,96
l_2	max. min.	52,07 51,56	55,75 55,24	61,98 61,47	59,18 58,67	64,64 64,14
l_3	min.	47,62	50,80	57,15	53,98	60,32
l_1	max. min.	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,03 4,52	5,00 4,50
m	max. min.	1,63 1,55	1,60 1,52	1,60 1,52	2,59 2,51	2,57 2,46
Pași pe 25,4 mm		8	8	8	5	5

burlan se înșurubează o bucată scurtă de burlan cu pereți groși, numită *șiu* (STAS 2293—79). Pentru ca șiul să înainteze ușor în neregularitățile găurii de sondă, se montează în capul lui un dop de ghidaj care poate fi din lemn, ciment sau fontă (fig. XI.99).

Elementele accesorii ale coloanei de tubare sînt: *șiul* sau *sabotul*, *inelul de reținere*, care se montează între două bucăți de burlane la 10—20 m deasupra șiului, *dispozitivele de centrare a coloanei* care se montează pe coloanele tubate, pentru a centra coloana față de pereții găurii de sondă în vederea cimentării și *curățitoarele de colmatare* care se montează pe coloană pentru a îndepărta crusta depusă prin colmatare pe pereții găurii de sondă, de asemenea în scopul asigurării unei bune cimentări.

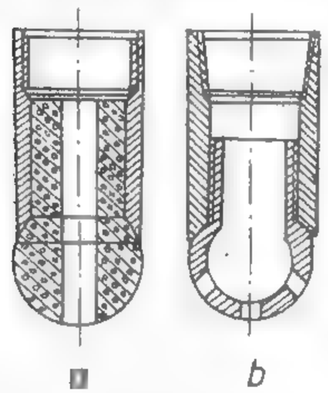


Fig. XI.99. Șiu:
a — cu dop de ciment; *b* — cu dop din fontă.

După condițiile de lucru și după scopul urmărit coloanele de tubare pot fi:

— *coloană de ghidaj*, care are rolul de a dirija fluidul de foraj, protejează pereții găurii de sondă și fundațiile instalației, izolează viiturile de apă din formațiunile de suprafață și suportă greutatea coloanei următoare de tubare;

— *coloana intermediară* se introduce atunci cînd apar dificultăți pentru atingerea adîncimii finale și are rolul de a izola sursele puternice de apă, să prevină surparea pereților găurii de sondă;

— *coloana pierdută* este o coloană de lungime relativ mică care se introduce pentru a susține o anumită porțiune din gaura de sondă sau porțiunea de la talpa găurii de sondă pînă la coloana precedentă. Ea se recomandă numai în cazuri cu totul speciale.

Dificultățile ce pot interveni în timpul tubării sînt: mansonarea coloanei, adică formarea în fața șiului a unui dop pe măsură ce coloana avansează, ca urmare a folosirii unui fluid necorespunzător la săpare; lipirea coloanei de pereții găurii de sondă în dreptul unor strate de marnă și argilă atunci cînd coloana nu este în mișcare; scăparea burlanelor și deformarea datorită forțării lor la introducere în gaura de sondă

3.6.2. CIMENTAREA

Prin cimentare se urmărește fixarea coloanei tubate cu terenul, în scopul izolării formațiunilor purtătoare de fluide sub presiune (țiței, apă) sau în scopul închiderii porilor și fisurilor stratelor în care are loc pierderea de circulație.

Se mai recurge la cimentare și în cazurile în care nu se pot lichida accidentele de fund (garnitura rămasă în gaura de sondă) sau se urmărește devierea găurii de sondă pentru atingerea obiectivelor geologice.

Cimentul folosit în operațiile de cimentare, în foraj este un ciment portland special, a cărui compoziție este arătată în tabelul XI.37.

După condițiile specifice în care se face cimentarea, timpul de priză trebuie mărit sau micșorat. În acest scop se introduc în laptele de ciment substanțe chimice care au rolul de acceleratori sau întîrzietori de priză. Ca *accelerator* se folosește clorura de calciu (Cl_2Ca) în proporție de 2—3% din cantitățile cimentului praf. Mai rar se

utilizează hidroxidul de potasiu, hidroxidul de sodiu și silicatul de sodiu. Ca *întîrzietori* de priză se utilizează gipsul (pînă la 2%), varul, tananții de sodiu etc.

În mod obișnuit se folosește laptele de ciment cu factorul apă-ciment $m = 0,4-0,6$. Acest factor reprezintă raportul dintre cantitatea de apă în cantitatea de ciment exprimate în kg.

Tabelul XI.37

Compoziția chimică a cimentului Portland

Componentul	%
Oxid de calciu, CaO	60—6
Bioxid de siliciu, SiO_2	17—25
Oxid de aluminiu, Al_2O_3	3— 8
Oxid de fier, Fe_2O_3	0,3— 6

Pentru ca cimentarea să-și atingă scopul, este necesar să se obțină inelul de ciment de aceeași grosime. În acest scop se montează pe coloana de burlane centrori, care înlătură lipirea burlanelor de pereții găurii de sondă și asigură centrarea acestora.

Dacă se urmărește cimentarea integrală a găurii de sondă, laptele de ciment se introduce prin prăjinile de foraj pînă la talpa găurii de sondă și pe măsură ce nivelul său se ridică se extrage o parte din prăjini.

După cimentare se determină adîncimea oglinzii cimentului și se ia probă din dopul de ciment, pentru a se vedea modul cum cimentul a făcut priză. Se verifică apoi etanșeitatea coloanei, pompînd fluidul de foraj la o presiune de 30 daN/cm² timp de 30 de minute. Dacă presiunea nu scade, coloana este etanșă.

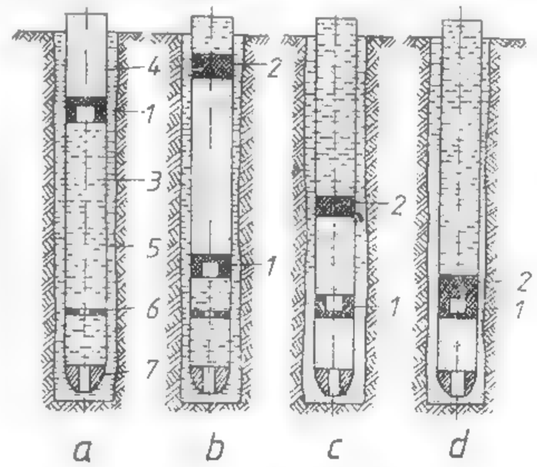


Fig. XI.100. Cimentarea cu două dopuri:
a — primul dop; *b* — începerea pompării fluidului de foraj după cel de-al doilea dop; *c* — refularea laptelui de ciment în spatele coloanei; *d* — terminarea operației; *1* — pompare laptelui de ciment; *2* — al doilea dop; *3* — noroi; *4* — ciment; *5* — burlane; *6* — inel; *7* — șiu.

Pentru realizarea cimentării de coloane se utilizează ca metode: cimentarea cu două dopuri, cimentarea cu coloană perforată, cimentarea etajată și cimentarea de coloană pierdută. Dintre acestea, în forajul de explorare se folosește cimentarea cu două dopuri (fig. XI.100) și cimentarea de coloană pierdută.

Cimentarea cu două dopuri. Constă în introducerea în coloană a primului dop de cimentare găurit, după care începe să se pompeze lapte de ciment. Se introduce apoi al doilea dop de cimentare, după care se pompează fluid de foraj. Cînd primul dop a ajuns la inelul de reținere, laptele de ciment trece prin primul dop și prin șiu se ridică în spațiul inelar. Se continuă în felul acesta pomparea pînă cînd al doilea dop se așază peste primul dop, moment în care cimentarea este terminată.

Cimentarea de coloană pierdută. Laptele de ciment se pompează prin prăjinile de foraj, în cantitatea necesară umplerii spațiului inelar dintre coloana pierdută și pereții găurii de sondă. După aceea se pompează o cantitate de fluid egală cu volumul interior al coloanei pierdute și al prăjinilor de foraj. La terminarea pompării se decuplează prăjinile prin rotire la stînga. La aplicarea acestei metode coloana pierdută se echipează cu șiu și valvă de reținere.

Reușita unei cimentări depinde de o serie de factori, dintre care mai importanți sînt: starea în care se află pereții de sondă, caracteristicile fluidului de foraj, mărimea spațiului inelar, calitatea cimentului și buna organizare a operației, precum și starea utilajelor.

3.7. DIFICULTĂȚI ȘI ACCIDENTE ÎN FORAJUL CU SONDEZE

În forajul unei găuri de sondă dificultățile care pot surveni sînt: devierile mari față de verticală, pierderile mari de circulație și accidentele tehnice de foraj sau avarii care au loc în gaura de sondă. Acestea din urmă se mai numesc și *accidente de fund.*

3.7.1. DEVIEREA GĂURILOR DE SONDĂ

O verticalitate absolută a găurii de sondă nu se poate obține cu mijloacele normale de lucru. Totuși, în mod practic se poate considera că forajul unei găuri de sondă poate fi condus fără dificultăți tehnice, atingînd obiectivul geologic final, dacă devierea de la verticală nu depășește 1° pentru fiecare 200 m foraţi.

Cauzele devierilor se pot grupa în trei categorii: cauze datorate instalării sau montajului greșit, cauze de ordin geologic și cauze de ordin tehnologic.

Cauzele datorate montajului greșit. O turlă sau trepied montate excentric, o fundație slabă sau un burlan de ghidaj rău centrat sînt cauze ale devierilor.

Cauze de ordin geologic. Anizotropia rocilor, înclinările prea mari ale stratelor sau schimbările de tării ale rocilor, prezența concrețiunilor silicioase, a golurilor carstice etc. în timpul săpării pot produce devierea găurii de sondă (fig. XI.101 *a*).

Cauze de ordin tehnologic. Între acestea se situează apăsarea exagerată pe sapă, aplicată în dorința de a obține o viteză mecanică sporită, numărul mic de rotații și debitul de spălare prea abundent în roci friabile, folosirea de scule improprii, tuburi de carotiere strîmbe, scurte sau înfiletate excentric, sape sau coroane prea uzate etc.

O deviere este semnalată prin unele indicii destul de precise. Astfel [illegible] unghi apare o sarcină mai mică decît cea normală în timpul introducerii garniturii și o [illegible], o sarcină mult sporită la extragerea garniturii și o rotire dificilă a garniturii [illegible] în gaura de sondă.

Elementele care caracterizează devierea unei sonde sînt: *unghiul zenital* [illegible] care arată devierea axei sondei față de verticală, și *azimutul* α, adică unghiul de [illegible] pe care-l face planul axei sondei cu o direcție anumită, luată ca reper, spre exemplu direcția nord-sud (fig. XI.101, *b*).

Măsurarea unghiului zenital se face în mod simplu, folosind fie sticla cu acid fluorhidric, fie bara cu sulfat de cupru.

Măsurarea mai precisă a unghiurilor zenitale se face cu ajutorul *goniometrului* sau cu *inclinometrele* care pot fi: giroscopice, magnetice și orientate (tabelul XI.38).

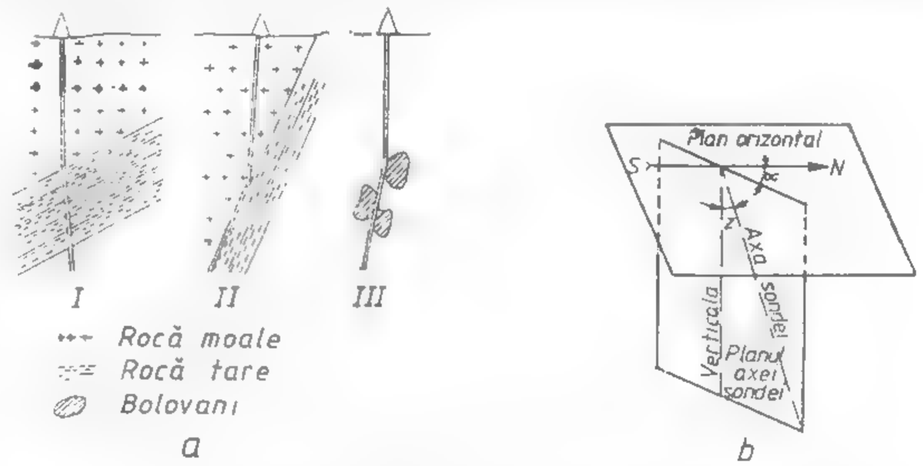


Fig. XI.101 Devierea găurii de sondă din cauze de ordin geologic (*a*) și elementele găurii de sondă deviate (*b*)

Îndreptarea sondelor deviate. Este o operație dificilă, costisitoare și de lungă durată.

Rectificarea unei sonde deviate se poate încerca prin una din metodele următoare:

— îndreptarea printr-un dispozitiv articulat;

— îndreptarea prin pană de deviere și foraj dirijat;

— cimentarea porțiunii deviate și reșapare[illegible] pe intervalul respectiv;

— torpilarea găurii deasupra locului de deviere și apoi tubarea cu o coloană de burlane.

Forajul dirijat. Sînt cazuri cînd prin săparea unei găuri de sondă verticală nu se poate atinge zăcămîntul de substanță utilă. Aceste cazuri se văzesc în următarele situații:

— substanța utilă se găsește în filoane de mică grosime, așezate aproape vertical (fig. XI.102, *a*);

— forajul se execută în imediata apropiere a unei halde sau mine exploatate (fig. XI.102, *b*);

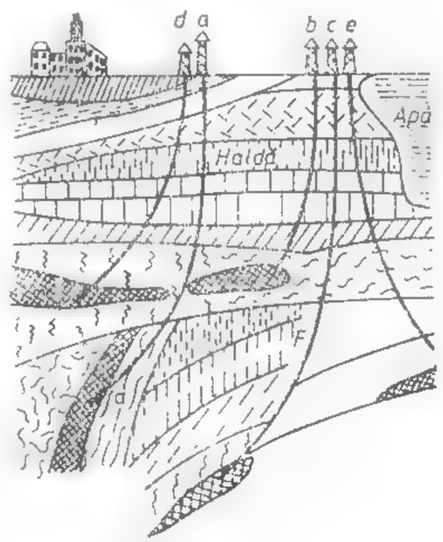


Fig. XI.102. Forajul dirijat

— stratificația prezintă dislocări tectonice și îndeosebi falii, care fac să scape substanța utilă (fig. XI.102, *c*);

— stratul urmărit se găsește sub diverse construcții (fig. XI.102, *d*);

Tabelul XI.9

Aparate de măsurat devierea pentru forajul cu sondeze. Tipuri și caracteristici tehnice principale

Caracteristici	Românesc	Sovietice							Eastman R.F.G.		
	Zipser	IS-2	IS-3	IS-4	1K	UMI-25	MIA 3	IG-2	Easteco	Single shot Tip A	Multiple shot
Unghiul față de verticală (zenital) grade	0–15 0–45°	0–45°	0–50	0–50°	0–50°	0–50	0–60°	0–60°	0–30	0–20 15–90	0–12 0–17 15–90
Unghiul în plan orizontal (azimutal) grade	0–360°	0–360°	0–360°	0–360°	0–360	0–360°	0–360	0–360°	0–360°	0–360	0–360°
Eroarea la măsurarea deviației	30′	15′	30′	30′	±15′	30′	30′	30′	15′	12′	12′
Eroarea la măsurarea azimutului	10°	5°	5°	5°	±5°	4°	5°	5°	3°	3°	3
Diametrul aparatului [mm]	60	45	50	50	45	—		70	32	32	32
Lungimea aparatului [mm]	300	800	800	800	800	—	—	400	610	610	1 066
Diametrul carcasei [mm]	75	60	65	65	60	25	33	89	45	48	50
Lungimea carcasei [mm]	1 500	2 500	2 185	2 185	2 500	800	1 000	2 500	800	1 000	1 500
Numărul de puncte măsurate într-o lansare în sondă	3	nelimitat							unu	unu	350
Felul înregistrării	înregistrare mecanică pe disc de carton	Se citește la suprafața sondei pe un galvanometru mărimea potențialului electric, iar acesta se calculează în grade sexacesimale							înregistrare mecanică pe disc de carton	înregistrare electrică pe placă fotografică	înregistrare electrică pe film de 10 mm
Felul introducerii în sondă	cu prăjinile	cu cablul trifilar	cu cablul monofilar				cu cablul trifilar		cu cablul monofilar sau cu prăjinile		
Tensiunea curentului continuu [V]	—	100	60	90	60	12	12	12	—	1,5	12
Tensiunea curentului alternativ [V]	—	127 220						127 220			

– stratul se află sub apă, mlaștină sau locuri inaccesibile (fig. XI.102, *e*).

În aceste cazuri și în altele similare, este necesar ca sonda să fie săpată înclinat într-o anumită direcție, spre a ajunge într-un punct dinainte stabilit.

Acest foraj dirijat se poate realiza în mai multe feluri:

– orientînd gaura de sondă de la început în direcția voită;

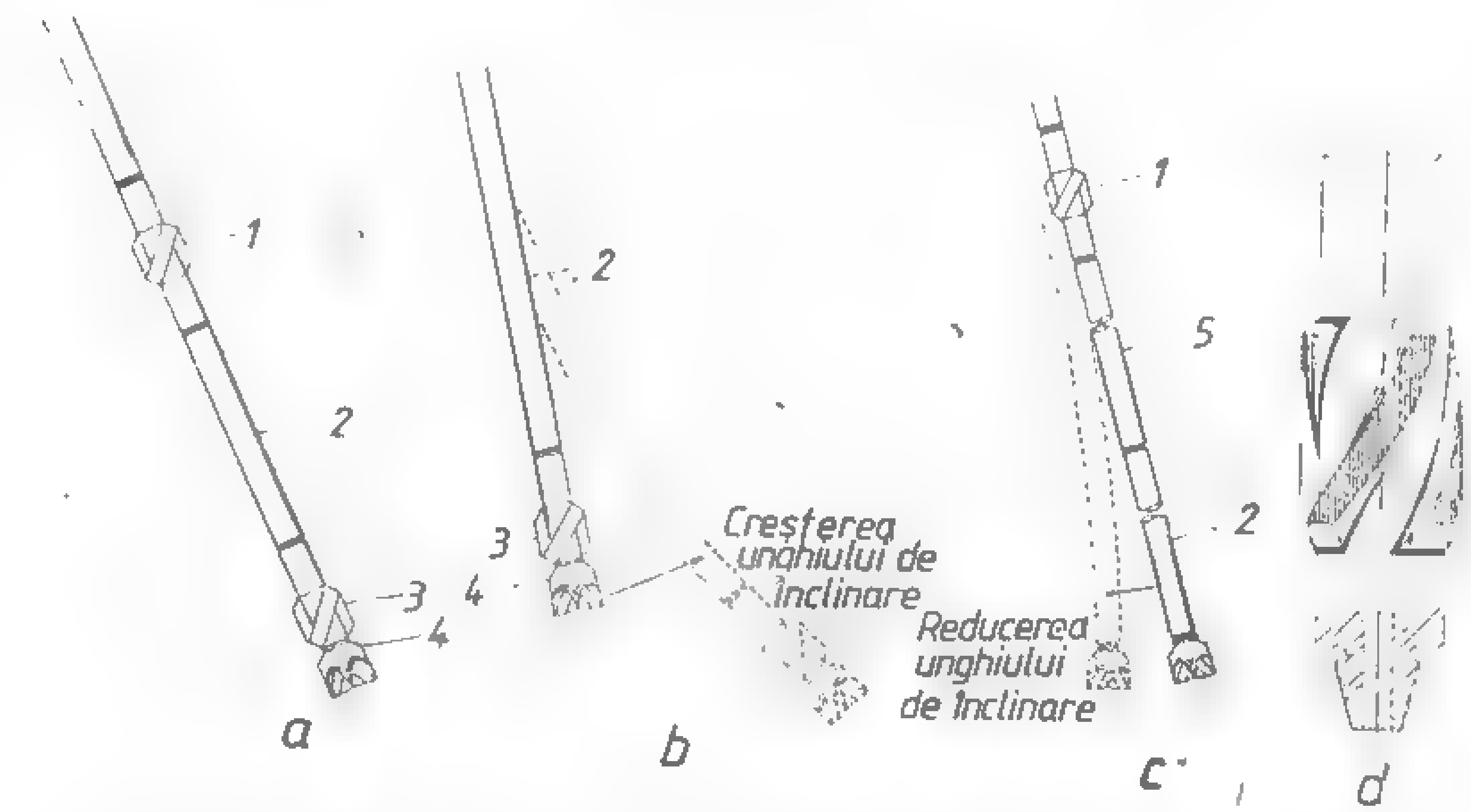


Fig. XI.103. Devierea voită a găurii de sondă cu ajutorul stabilizatoarelor:

a — foraj direcțional cu unghi de înclinare constant; *b* — foraj direcțional cu creșterea unghiului de deviere (înclinare); *c* — foraj direcțional cu reducerea unghiului de deviere; *1* — stabilizator pentru garnitura de foraj; *2* — prăjină grea antimagnetică; *3* — stabilizator situat deasupra sapei; *4* — sapă; *5* — prăjină de foraj, *d* — stabilizator (detaliu).

– dînd găurii sondei o înclinare progresivă în formă de arc;

– executînd un foraj vertical la o adîncime de 50–60 m, după care se imprimă înclinarea în arc.

Devierea voită a unei găuri de sondă se face cu ajutorul unor scule speciale numite *stabilizatoare*, așa cum se vede în fig. XI.103.

3.7.2. PIERDERI DE CIRCULAȚIE

În formațiunile străbătute, uneori se produc pierderi de circulație. Cauzele pierderilor de circulație pot fi de natură geologică sau tehnologică.

Cauzele geologice se datoresc stratelor neconsolidate (nisipuri și gresii), formațiunilor faliate, prezenței golurilor cavernoase sau a stratelor poroase ai căror pori sînt cel puțin de trei ori mai mari decît particulele maxime ale fluidului de foraj.

Cauzele tehnologice constau fie în creșterea presiunii exercitate pe strat, fie prin debite prea mari de circulație sau prin utilizarea unui fluid calitativ necorespunzător (greutate specifică mare, gelația fluidului etc.).

Detectarea pierderii se face printr-una din metodele actuale: măsurarea vitezei de curgere în spațiul inelar, măsurarea variației de temperatură a fluidului din sondă sau prin tensori radioactivi.

Măsurile de ordin tehnic, de prevenire sau micșorare a cuantumului pierderilor de fluid în formațiunile respective, constau în formarea fluidului adecvat calitativ, căruia i se vor controla frecvent caracteristicile principale: vîscozitate, greutate specifică și gelație. La intrarea în formațiune se aplică un regim de foraj cu presiune axială redusă și debite reduse. Se evită manevrele rapide și pornirile bruște ale pompei. De la caz la caz se mai pot aplica și alte metode, ca: blocarea cu produse lamelare, fibroase și granulare introduse în fluidul de foraj, cimentarea, silicatizarea etc.

3.7.3. ACCIDENTE DE FORAJ

Avariile cele mai frecvente, la forajul cu sondeze, se produc la garnitnrile de foraj (ruperi de prăjini sau smulgeri de filet datorită prinderii sau înțepenirii garniturii în gaura de sondă) sau prin scăpările de scule sau de obiecte mici în gaura de sondă.

Accidentele (avariile) pot fi provocate din următoarele cauze:

utilizarea unor instalații de foraj, prăjini sau scule necorespunzătoare;

- aplicarea unui regim tehnologic greșit;

- lipsa de calificare a personalului, asociată cu lipsa unui control periodic al operațiilor;

condiții geologice grele sau speciale.

Pentru rezolvarea accidentelor ce pot surveni în timpul forajului se procedează în felul următor:

Ruperile de prăjini se rezolvă prin introducerea dornului, a tutei sau a coruncii, după cum se prezintă capul-deșurubat sau rupt.

Dornurile se utilizează în două variante de montaj — cu pălărie și fără pălărie. Dornul are filet dreapta sau stînga tăiat pe toată suprafața conică. Pe toată lungimea filetată, dornul are tăiate canale în scopul degajării șpanului în timpul tăierii filetului în prăjini.

Se utilizează trei tipuri de dornuri

- tip W normale, pentru prinderea corpului de prăjină tip W (fig. XI.104, *a* și *b*; tabelul XI.39);

- tip W scurte, pentru prinderea [niplului de legătură la prăjini tip W (fig. XI.104, *c*; tabelul XI.40);

— tip Q, pentru prinderea corpului de prăjină tip Q (fig. XI.104, *d*; tabelul XI.41).

Tuta se folosește pentru prinderea prin înșurubare la exterior a prăjinilor, atunci cînd diametrul prăjinii rămase în gaura de sondă este prea mic și cînd introducerea dornului nu este posibilă sau nu dă rezultate. Tutele se execută în două variante:

tip TA și TB (fig. XI.105, *a*; tabelul XI.42), pentru prăjini cu diametrul de 35,5 mm, 42 mm și 50 mm;

— tip BW și NW (fig. XI.105, *b*; tabelul XI.43), pentru prăjini de foraj și nipluri seria W.

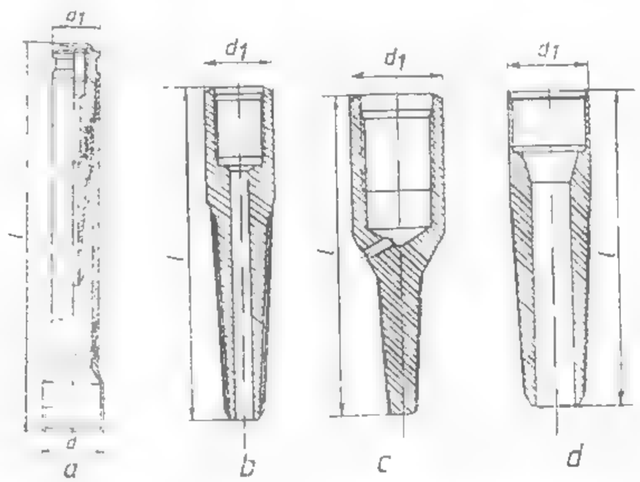


Fig. XI.104. Dornuri pentru instrumentat prăjini.

Corunca (fig. XI.106) este scula care se poate folosi la rezolvarea tuturor cazurilor de rupere sau de smulgere a garniturii de foraj. Ea prinde la exteriorul corpului prăjinilor, prin intermediul unor bacuri dințate. După sistemul de degajare a sculei prinse, coruncile sînt de două tipuri:

coruncă normală la care degajarea se face prin rotire;

coruncă cu declanșare, la care degajarea se face prin apăsarea coruncii pe corpul prins, după care se extrage.

Tabelul XI.39

Caracteristici tehnice ale dornului tip W normal

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Diametrul exterior al pălăriei	Lungimea dornului	Lungimea totală	Diametrul de prindere minim	Diametrul de prindere maxim	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	230	630	17,5	31,5	160	5
AW	43,7	71	240	488	25,4	40	230	7
BW	54	95	273	618	31	49	360	11
NW	66,7	116	305	711	41,2	62,2	430	12

Pentru aducerea garniturii care se instrumentează la centrul găurii de sondă se folosesc *cîrlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică* (fig. XI.107).

După înșurubarea dornului, tutei sau coruncii se restabilește circulația și se execută tracțiunea pentru extragere. Aceasta constituie operația curentă în cazul garniturii libere.

Tabelul XI.40

Caracteristici tehnice ale dornului tip W scurt

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Diametrul exterior al pălăriei	Lungimea dornului	Lungimea total	Diam. de prindere minim	Diam. de prindere maxim	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	d_1 [mm]	d [mm]	l [mm]		mm		kN	kg
EW	35	56	167	408	7,9	16,8	30	3
AW	43,7	71	176	428	12,7	22	70	6
BW	54	95	190	439	15,8	26	100	8
NW	66,7	116	203	451	31,8	42	280	9

Prinderea garniturii în gaura de sondă. În cazul unei prinderi se exercită imediat o tracțiune cu troliul, pentru degajare.

O prindere poate surveni din cauza crotierei prinse sau în cele mai multe cazuri din cauza dărîmării, manșonării sau acumulării de detritus în talpă sau chiar în gaura-cheie. Degajarea din gaura-cheie se rezolvă nu prin tracțiune, ci din contră, prin lăsarea în jos a garniturii și schimbarea de poziție.

Tabelul XI.41

Caracteristici tehnice ale dornului tip Q

Tipul dornului	Diametrul exterior al dornului	Lungimea dornului	Diametrul de prindere minim	Diametrul de prindere maxim	Sarcina maximă de lucru	Masa netă informativă
	d_1 [mm]	l [mm]	mm		kN	kg
BQ	57	265	39	57	170	3
NQ	72	280	53	72	250	4
HQ	92	290	71	92	300	7

În celelalte cazuri, prima măsură este recondiționarea fluidului cu menținerea neîntreruptă a circulației.

În caz de nereușită se va introduce țiței în circuit în pachete, care să se ridice în spatele garniturii pe 50—60 m sau se va face o circulație integrală cu țiței.

Simultan cu procedeele de circulație indicate mai sus, se va face și o tracțiune asupra garniturii, limitată la rezistența prăjinilor, după indicațiile drilometrului.

Obiecte mici scăpate în gaura de sondă. În asemenea cazuri trebuie procedat la o recunoaștere a poziției ce o ocupă obiectul la fund.

Tabelul XI.42

Caracteristici tehnice ale tutelor tip TA și TB

Simbolul tutei	Filetul racordului	d	D	l	L	Diametrul de prindere min.	Diametrul de prindere max.	Masa
		mm				mm		kg
ГВ 20-36	AW	46	—	240	—	22	29	2
$ГА_1$ 26-38	AW	56	—	390	—	28	32	4
ГВ 28-45	BW	57	—	270	—	30	38	3
$ГА_1$ 34-46	BW	64	—	400	—	36	40	6
$ГА_1$ 42-54	NW	72	100 120 140	410	530 550 570	44	48	7
$ГА_1$ 50-68	NW	90	100 120 140	520	630 650 670	52	62	10
$ТА_2$ 44-48	NW	108	—	550	—	46	81	20

Tabelul XI.43

Carsacteritici tehnice ale tutelor tip BW și NW

Dimensiunea nominală a tutei, d	Filetul racordului	Lungimea tutei	Diametrul de prindere min.	Diametrul de prindere max.	Masa aproximativă
mm		mm	mm		kg
58,0	BW	213	38,9	54,3	1
72,5	NW	241	51,6	67	2
95,2	HW	275	72,2	90	3

În acest scop se introduce un model de ceară simplu cu ajutorul prăjinilor. Alteori modelul poate fi executat dintr-un burlan căruia i se sudează în partea inferioară o placă de 15 mm grosime, spre a crea un compartiment în care se toarnă plumb menținut în interior prin sîrmă și cuie (fig. XI.108).

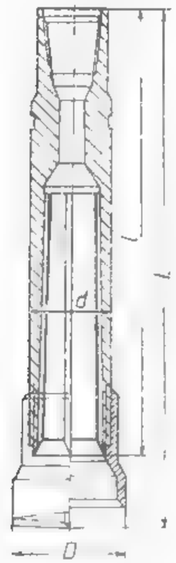
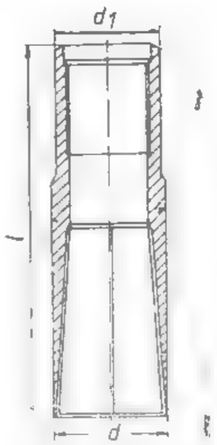


Fig. XI.105. Tute pentru prăjini de sondeze.



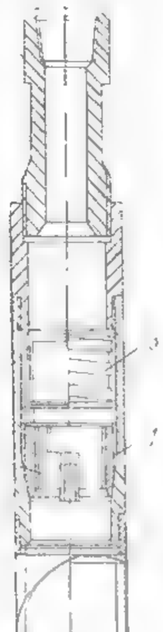
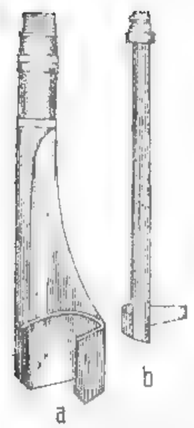


Fig. XI.106. Coruncă: *1* — bacuri; *2* — pene; *3* — arc spiral.



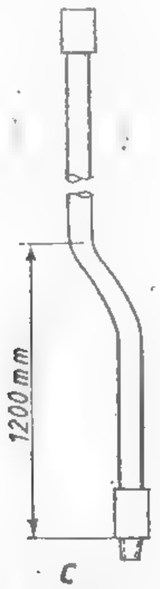


Fig. XI.107. Cîrlige pentru prins și îndreptat prăjina excentrică:
a—pentru pris; *b*—pentru îndreptat; *c*—prăjină excentrică.

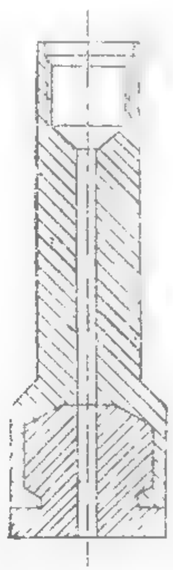


Fig. XI.108. Model cu plumb.

Un alt mijloc este folosirea frezei magnetice.

În terenurile moi, obiectele scăpate în gaura de sondă (bacuri de clești, șuruburi, nulițe etc.) sînt împinse în perete de sapa dreaptă.

Sculele de instrumentație folosite pentru prinderea obiectelor căzute în gaura de sondă sînt: *gura de lup* (fig. XI.109, *a*), *pătanjenul* (fig. XI.109, *b*), *magnetul pentru instrumentație* (fig. XI.109, *c*), *frezele* cilindrice (fig. XI.109, *d*)

Tabelul XI.44

Caracteristici tehnice ale frezelor de așchiat obiecte metalice

Dimensiunea nominală (filetul de îmbinare)	EW	AW	BW	NW	NW	NW
Diametrul exterior al frezei [mm]	36,8	47,5	59	75	91,5	98,5
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafața frontală		Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală			
Lungimea frezei [mm]	150	165	220	270	285	300
Masa netă informativă [kg]	0,900	1,280	2,940	5,240	6,470	8,430

Frezele cilindrice sînt de trei tipuri:

— freze tip W, pentru așchiat obiecte metalice (tabelul XI.44) prevăzute pe suprafața frontală și laterală cu dinți din aliaj dur (fig. XI.109, d_1) sau cu dinți din corp (fig. 109, d_2);

freze pentru așchiat prăjini de foraj W (fig. XI.109, d_3) și Q (fig. XI.109, d_4), cu dimensiunile din tabelul XI.45;

Tabelul XI.45

Caracteristici tehnice ale frezelor pentru așchiat prăjini de foraj

Dimensiunea bominală	BW	NW	BQ	NQ
Filetul de îmbinare	BW	Sz 50	BQ	NQ
Tipul frezei	Cu dinți pe suprafețele frontală și laterală		Cu dinți pe suprafața frontală	
Lungimea frezei [mm]	370	405	130	150
Masa netă informativă [kg]	5,140	8,550	0,470	2,930

freze cu premergător pentru așchiat tuburi carotiere WG (fig. XI.109, d_5, tabelul XI.46), prevăzute cu dinți sub formă de lame din oțel rapid pe suprafața frontală și laterală.

Pentru obiecte mari scăpate se recurge uneori la dezvierea găurii.

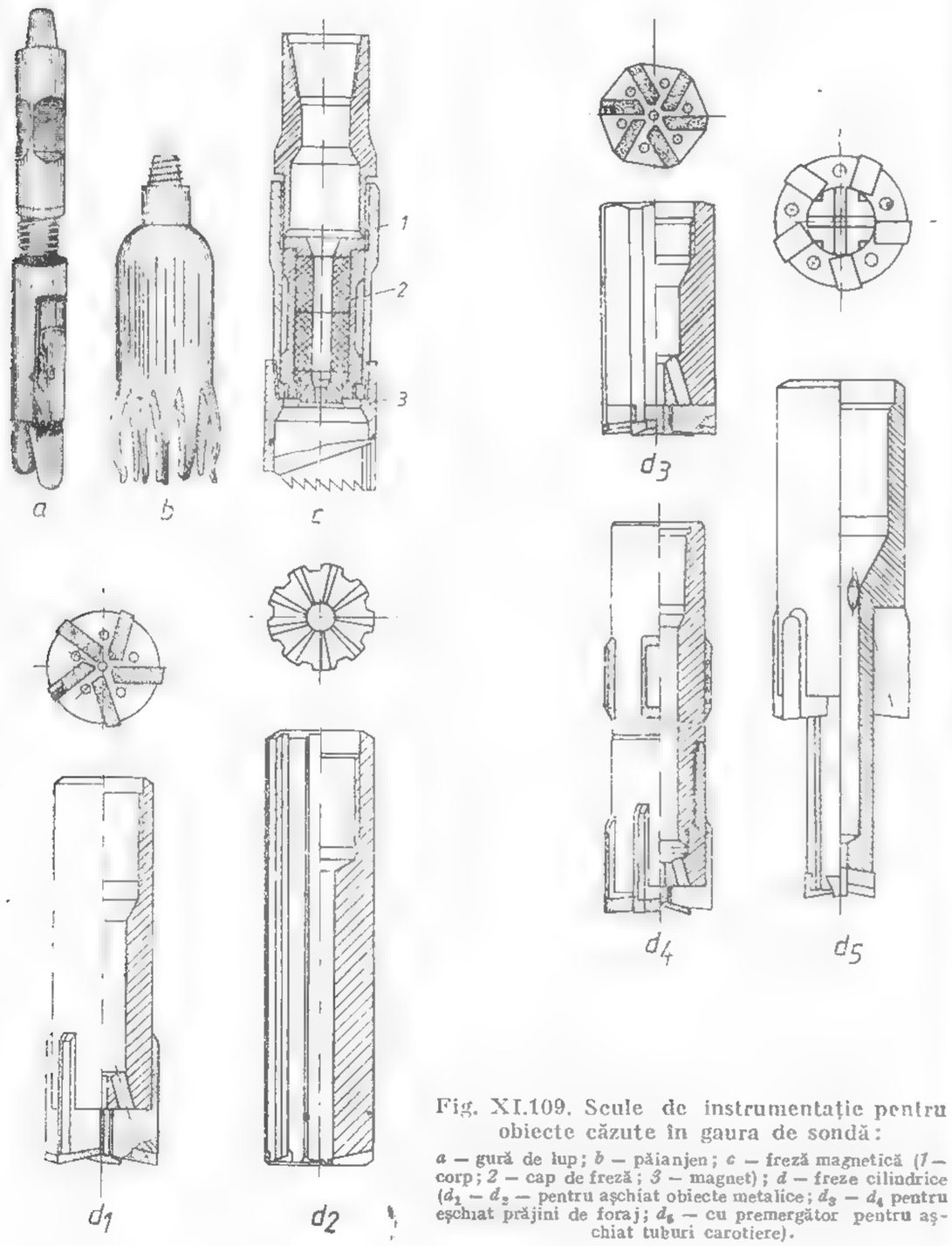


Fig. XI.109. Scule de instrumentație pentru obiecte căzute în gaura de sondă:

a — gură de lup; *b* — păianjen; *c* — freză magnetică (*1* — corp; *2* — cap de freză; *3* — magnet); *d* — freze cilindrice (d_1 — d_2 — pentru așchiat obiecte metalice; d_3 — d_4 pentru eșchiat prăjini de foraj; d_5 — cu premergător pentru așchiat tuburi carotiere).

Cînd obiectul este însă mic și dintr-un material nu prea dur sau cînd terenul este foarte tare, el se poate ataca cu o freză masivă, în scopul de a-l transforma în așchii. Frezele pot fi cu acțiune frontală, acțiune exterioară sau interioară obiectului de frezat.

Tabelul XI.46

Caracteristici tehnice ale frezelor cu premergător

Simbolul tubului de carotieră de frezat	AWG	BWG	NWG	HWG
Diametrul exterior al frezei [mm]	47,5	59	75	98,5
Diametrul exterior al premergătorului [mm]	24	35	48	70
Filetul de îmbinare al frezei	AW	BW	Sz 50	2 3/8
Lungimea frezei [mm]	180	180	200	220
Masa frezei [kg]	0,866	1,078	1,900	4,055

Accidente de burlane. În cazul scăpării de burlane în gaura de sondă sau al smulgerii lor din filet, se introduce un model care atată atît starea mufei cît și adîncimea la care se află. Dacă mufa este bună se va proceda la întregirea coloanei prin introducerea cu ajutorul prăjinilor a unui cep cu filet identic. Dacă partea de jos este ușor ovalizată se va proceda la îndreptarea ei cu ajutorul bîrnelor progresive.

Cabluri rămase în gaura de sondă. Se întîmplă uneori ca instrumentele de măsurat devierea sau cu care se face carotajul electric sau alte operații speciale să se înțepenească în gaura de sondă. În cazul cînd cablul s-a rupt, rămînînd îngrămădit în gaura sondei, se va opera cu *cîrligul* (fig. XI.110, *a*) sau cu *ghimparul* (fig. XI. 110, *b*). Cîrligul are un cioc de prins la partea de jos, iar ghimparul mai multe ciocuri laterale.

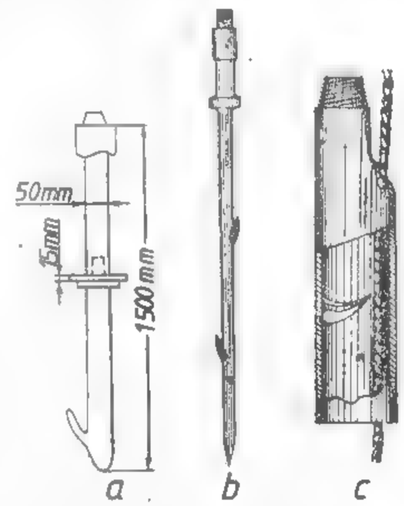


Fig. XI.110. Scule pentru rezolvarea accidentelor tehnice provocate de ruperea cablului.

În cazul înțepenirii aparatului de măsură introdus cu cablu, degajarea cablului se face prin tăiere cu ajutorul unui *cuțit* (fig. XI.110, *c*), imediat deasupra aparatului înțepenit. După tăierea și extragerea cablului se instrumentează pentru extragerea aparatului rămas în gaura de sondă.

Procedeele de lucru și sculele folosite aparțin unui domeniu foarte variat, în care practica, ingeniozitatea și perseverența trebuie împletite pînă la rezolvarea cazului.

3.8. INSTALAȚII DE FORAJ — SONDEZE MECANICE

Sondezele mecanice sînt construite pentru adîncimi care variază de la 50 pînă la 2 000 m.

O instalație de foraj cu sondeze mecanice constă din următoarele părți:

- turla, trepiedul sau mastul cu geamblacul și macaraua;
- troliul de manevră cu angrenajele respective;
  dispozitivul de rotire;
  dispozitivul de avansare;
- pompa de noroi cu anexele sale,
  instalația de forță.

Caracteristice pentru sondezele mecanice sînt dispozitivele de rotire și de avansare, care se deosebesc de mecanismele cunoscute la granicele de mare adîncime.

După *modul de acționare a dispozitivului de avansare*, sondezele mecanice rotative se clasifică în:

— sondeze cu manevrarea dispozitivului de avansare și de rotire cu aer comprimat;

sondeze cu manevrarea sistemului de avansare hidraulic.

După *felul transportului și montajului*, sondezele se clasifică în:

portabile, care sînt ușoare și se pot transporta ușor în subansambluri;

staționare sau fixe, care necesită fundații la fiecare locație;

— semitransportabile, la care unele subansambluri se transportă, altele sînt fixe pe sănii care se tractează;

— transportabile, la care întreaga instalație este fixată pe o platformă prevăzută cu roți, șenile, sănii;

— autotransportabile sau autopurtate, care au toate subansamblurile montate pe un singur mijloc de transport — camion, tractor etc.

După *adîncimea de forare* și *după capacitatea de susținere și manevrare a echipamentului de manevră*, sondezele se clasifică în:

- foarte ușoare, cu adîncime de forare pînă la circa 50 m și capacitate de susținere de pînă la 5 kN;
- ușoare, pînă la 200 m adîncime și circa 20 kN capacitate de susținere;
- mijlocii, pînă la 600 m adîncime și circa 50 kN capacitate de susținere;
- semigrele, pînă la 1 200 m adîncime și circa 125 kN capacitate de susținere;
- grele, pînă la 2 000 m adîncime și circa 200 kN capacitate de susținere.

Sondeze cu manevrare cu aer comprimat a dispozitivului de avansare și rotire. Aceste tipuri de sondeze se folosesc în lucrările subterane unde există instalații de producere a energiei sub forma aerului comprimat.

Ele sînt folosite atît, în explorare, pentru cercetarea zonelor mineralizate cuprinse între diferite lucrări miniere, cît și în exploatare, pentru executarea suitorilor, sau la săparea lucrărilor miniere orizontale și verticale.

După adîncimea pînă la care pot să foreze și după modul în care se fixează instalația mecanică de foraj, se cunosc sondeze acționate cu aer comprimat, folosind o singură coloană de fixare și sondeze cu două coloane de fixare. Cu primele se pot fora găuri de sondă pînă la adîncimea de 100 m, iar cu celalte pînă la 200 m.

Sondeze cu manevrare hidraulică a dispozitivului de avansare. Sondezele de acest tip prezintă o perfecționare a instalațiilor de foraj, atît sub aspectul construcției cît și al modului de funcționare.

Din tipul de sondeze cu avansare hidraulică fac parte sondezele de construcție românească seria SG, sondezele de construcție sovietică ZIF, precum și numeroase alte instalații cu construcție străină.

Mecanismul de avansare cu piston cu unul sau doi cilindri, acționat hidraulic, este aplicat la majoritatea sondezelor de la adîncimea de 200 m pînă peste 2 000 m.

Schema generală a sistemului de avansare hidraulică este redată în fig. XI.111.

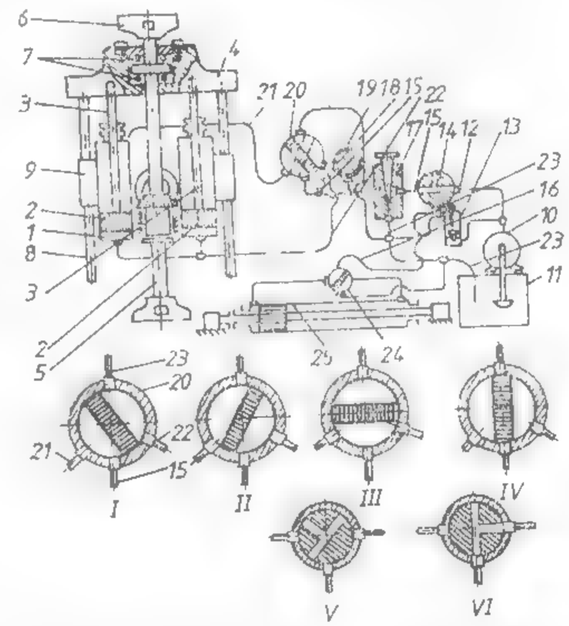


Fig. XI.111. Schema generală a sistemului de avansare hidraulică.

Sistemul de avansare hidraulic constă în doi cilindri *1* cu pistoanele *2* și tijele lor *3*. În partea superioară tijele sînt prinse în traversa *4*, care este solidarizată cu capul rotativ *5* cu mandrinele *6*, fixat la rîndul său pe rulmenții de presiune *7*. De corpul capului rotativ sînt fixate două bucșe de bronz *9*, prin care trec tijele de ghidaj *8* legate de traversă și care au rolul de a elimina vibrațiile și de a da o soliditate mai mare construcției. Tijele sînt gradate în centimetri, astfel că se poate observa în tot momentul viteza mecanică de avansare.

Mecanismul de avansare este prevăzut cu o pompă de ulei *10*, care împinge uleiul din rezervorul *11* în conductele *12*. Pe conductă este fixată o supapă de siguranță *13* și o cană *14*, prevăzută cu trei căi. Uleiul trece fie prin cilindrii de avansare *15*, fie spre cilindrul *16* de deplasare pe orizontală a granicului. Presiunea uleiului din cilindri este reglată prin ventilul *17*. Pentru controlul presiunii, sistemul hidraulic este prevăzut cu manometrul *18*, iar pentru controlul apăsării pe talpă, sistemul are un indicator de greutate *19*. Prin distribuitorul *20* se face legătura circuitului hidraulic cu partea inferioară sau superioară a cilindrilor pe conductele *21* și *22*. Evacuarea uleiului din cilindri se face prin conducta de scurgere *23*.

Pentru deplasarea pe orizontală a granicului în scopul eliberării găurii de sondă, instalația este prevăzută cu un cilindru hidraulic cu piston așezat sub granic.

3.8.1. INSTALAȚII PENTRU FORAJ DE EXPLORARE FABRICATE ÎN ROMÂNIA

Instalațiile de foraj de explorare fabricate în România, sub denumirea de *instalații de foraj geologic*, se execută în următoarele tipuri:

— instalație de foraj SG-650 M;
— instalație de foraj SG-150;
— instalație de foraj FG-8;
— instalație de foraj FG-5;
instalație de foraj FG-1,2 M;
instalație de foraj FG-0,63 D.

Fabricarea acestor instalații se face de către uzinele constructoare de mașini Tîrgoviște, Giurgiu și Baia Mare.

3.8.1.1. **Instalația de foraj SG-650 M**

După energia de acționare instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-650 M antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalația de foraj se compune din agregatul de foraj, grupul motor Diesel, grupul de pompare, instalația de noroi, mastul cu substructura, echipamentul de manevră (geamblac, macara, cîrlig, cap hidraulic) și baracă (fig. XI.112).

Agregatul de foraj conține o șaibă de antrenare prin curele trapezoidale, ambreiaj, cutie de viteze, troliu și cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și manuală. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prărinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic. Comenzile și apajatura sînt centralizate la un pupitru de comandă.

Grupul motor Diesel este dotat cu ambreiaj cu fricțiune și cuplaj hidraulic.

Grupul de pompare este format dintr-o cutie de viteze, pompa de noroi și manifoldul de refulare.

Agregatul de foraj se sprijină pe o substructură metalică împreună cu mastul rabatabil. Operația de rabatere se execută cu ajutorul agregatului de foraj.

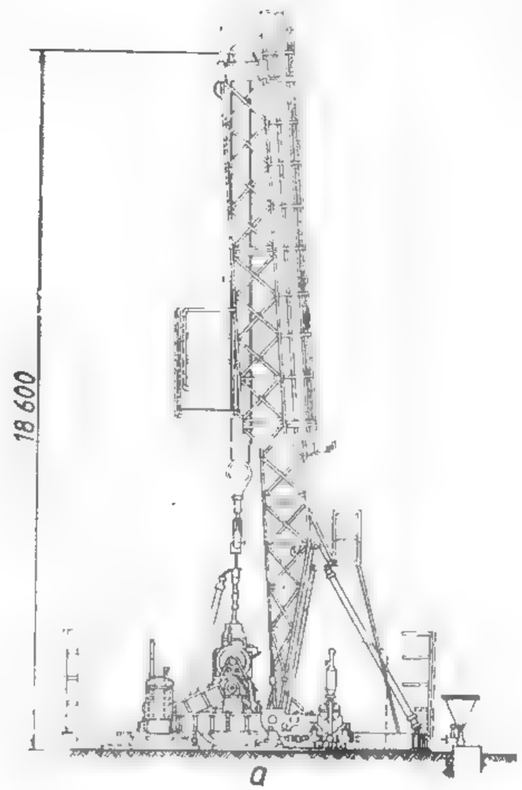
Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II). Această variantă este asemănătoare variantei I, cu deosebirea că agregatul de foraj și grupul de pompare sînt antrenate separat prin motoare electrice (fig. XI.113).

Instalația de foraj geologic SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III). Instalația (fig. XI.114) se compune din:

- grupul de foraj alcătuit din agregatul de foraj al instalației SG-650 M antrenat de către un motor Diesel și montat pe două sănii de transport;

— grupul de pompare alcătuit din pompa 2PN-35, cutie de viteză, motor Diesel, montat pe sanie;

- mast în formă de trepied special amenajat pentru foraje înclinate.



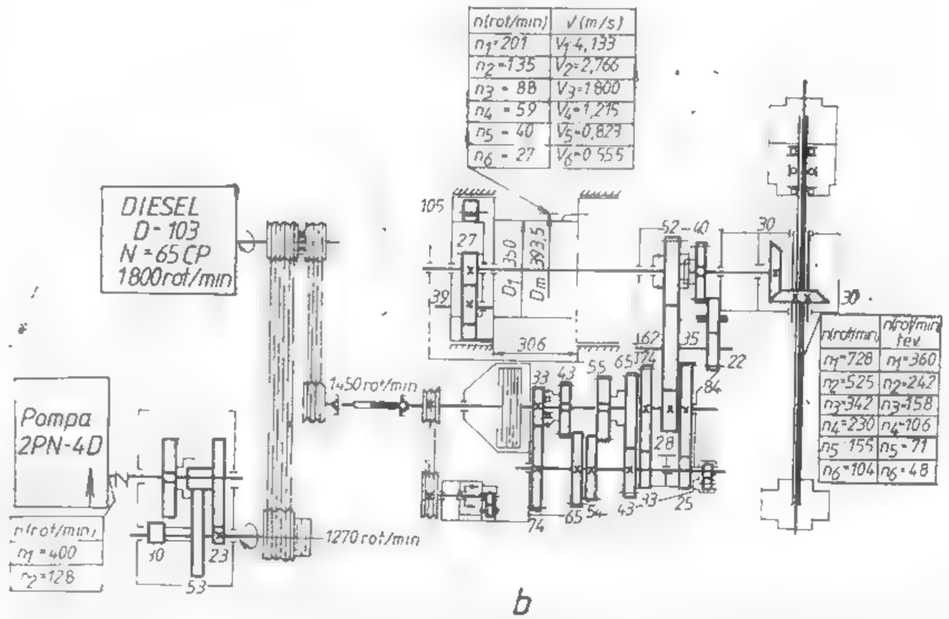
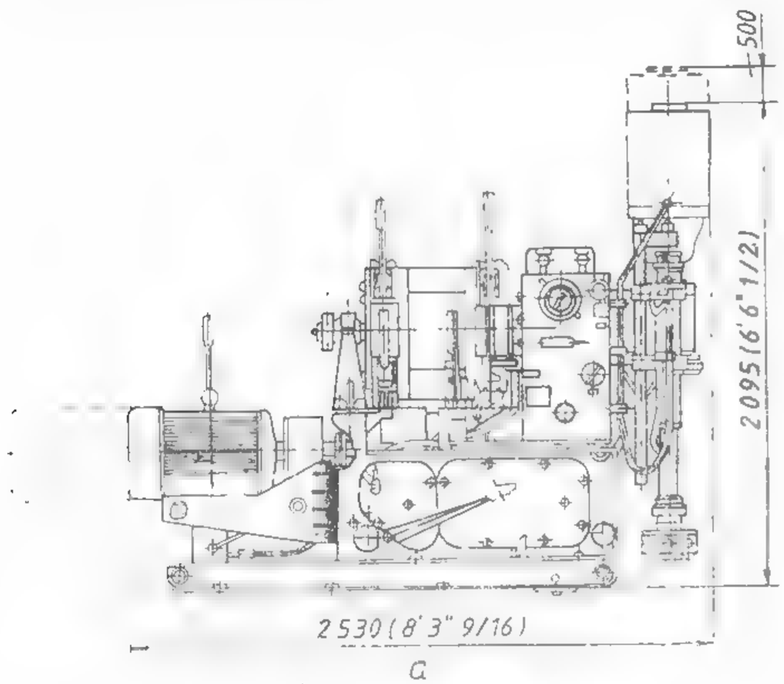
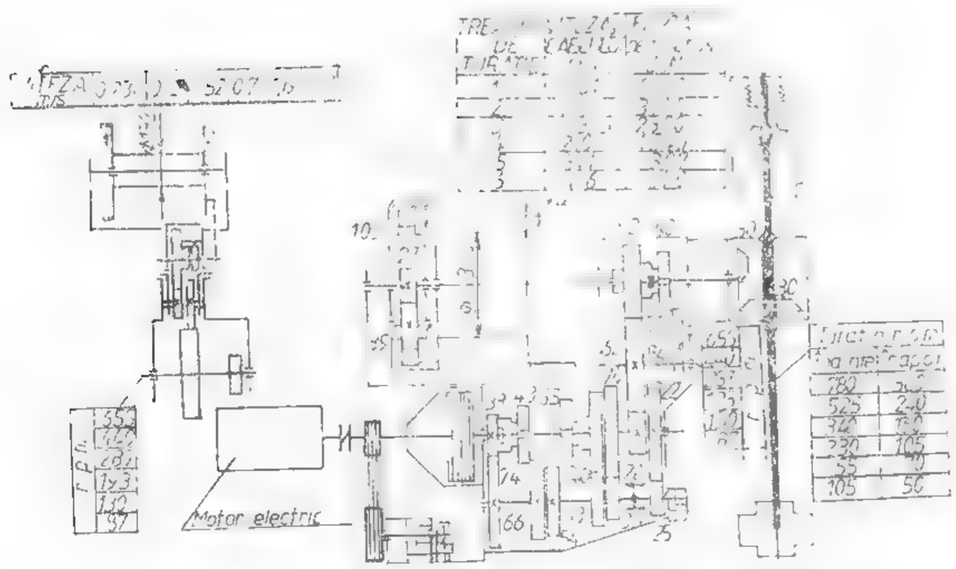


Fig. XI.112. Instalație SG-650 acționată cu motor Diesel (varianta I):
a — vedere de ansamblu; *b* — schema cinematică.



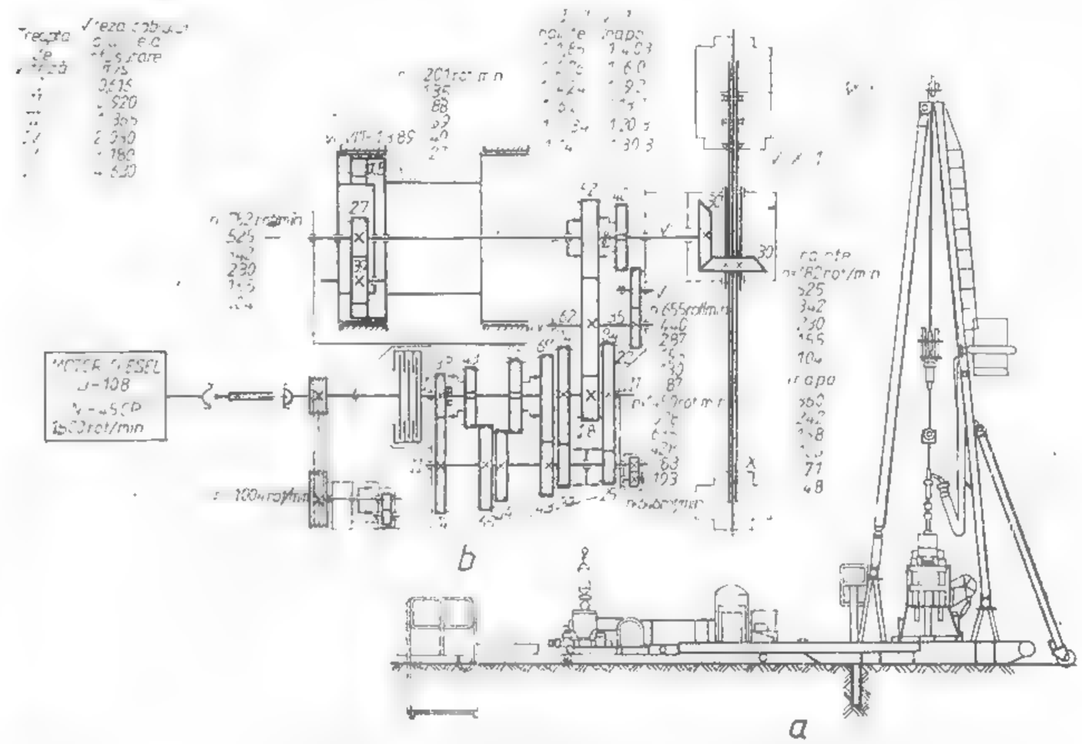
a



b

Fig. XI.113. Instalația de foraj SG-650 M antrenată de motoare electrice (varianta II):

a — agregatul de foraj; *b* — schema cinematică.



b

a

Fig. XI.114. Instalația de foraj SG-650 M cu antrenare independentă pentru grupul de foraj și grupul de pompare (varianta III):

a — vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică.

Caracteristici tehnice

Variante	I	II	III
Adîncimea de foraj, cu prăjini:			
BW 53,97 mm; $q = 6{,}85$ kg/m		1 200 m	1 000 m
NW 66 mm; $q = 8{,}9$ kg/m		850 m	790 m
Diametrul găurii forate			
maxim (inițial)		214 mm	214 mm
- minim (final)		59 mm	59 mm
Sarcina normală la cîrlig		12 500 daN	pe două fire 6 500 daN
Sarcina maximă la cîrlig		20 000 daN	10 000 daN
Cursa de retractare a agregatului de foraj		500 mm	500 mm
Puterea motorului de antrenare a agregatului		65 CP; 30 kW	65 CP
Puterea motorului de antrenare a pompei de noroi		65 CP; 30 kW	65 CP
Numărul treptelor de viteză la troliu		6 + 6 revers	6 + 6 revers

Variante	I II	III
Forța de tracțiune max. în cablu la toba troliului (cablu Ø 16 mm — 5/8 in)	5 000 daN	5 000 daN
Viteza cablului la toba troliului	0,55...4,13 m/s	0,55...4,13 m/s
Nr. treptelor de viteză la capul rotativ	6 + 6 revers	6 + 6 revers
Turația la capul rotativ	dr. 104...782 rot/min st. 48...360 rot/min	dr. 104...782 rot/min st. 48...360 rot/min
Forța max. de ridicare hidraulică	10 000 daN	10 000 daN
Forța max. de apăsare hidraulică	8 500 daN	8 500 daN
Cursa fusului principal	500 mm	500 mm
Diametrul de trecere prin fus	68 mm	68 mm
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°	0...360°
Momentul de strîngere la mandrine	360 daNm	360 daNm
Înălțimea geamblacului în poziție de lucru	18,6 m	10,15 m
Tipul pompei de noroi	2 PN—40	2 PN—40
Numărul habelor de noroi	4	4
Capacitatea unei habe	2 350 l	2 350 l
Denisipator cu două cicloane	Ø 100 mm	
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast	90° la 75°	90°—45°
Masa totală a instalației, kg	17 000; 16 080	14 140
Masa agregatului de foraj, kg	2 475; 2 619	3 543
Masa grupului de pompare, kg	1 033; 1 380	2 565

3.8.1.2. Instalația de foraj SG-150

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate instalația se execută în trei variante:

Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă antrenată de la motorul moto (varianta I). Ansamblul format din agregatul de foraj acționat hidrostatic, circuit hidrostatic, transmisii, pompa de noroi, motor și echipamentul de manevră (geamblac, cablu de manevră, suvei și cap hidraulic) se montează pe un autovehicul utilitar TV12, cu două diferențiale (fig. XI.115).

Agregatul de foraj este retractabil și se compune din motor hidrostatic, multiplicator, cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de distribuție, troliu, cap rotativ prevăzut cu mandrină hidraulică și mandrină mecanică, circuit de ungere.

Comenzile și aparatura sînt centralizate la un pupitru de comandă.

Transmisia se compune din priză de putere flanșată pe cutia de viteze a autovehiculului, arbore cardanic și cutie de distribuție.

Cutia de distribuție transmite fluxul de putere la o pompă hidrostatică ce acționează hidrostatic motorul agregatului de foraj și la o roată de curea care antrenează, prin 3 curele trapezoidale, pompa de noroi 3PN-10.

Șasiul autovehiculului este special amenajat spre a permite montarea agregatului de foraj, a pompei de noroi și a rezervorului de ulei, a mastului și anexelor.

Mastul se rabate hidraulic, în timpul transportului se așază orizontal pe un suport prevăzut pe cabina auto.

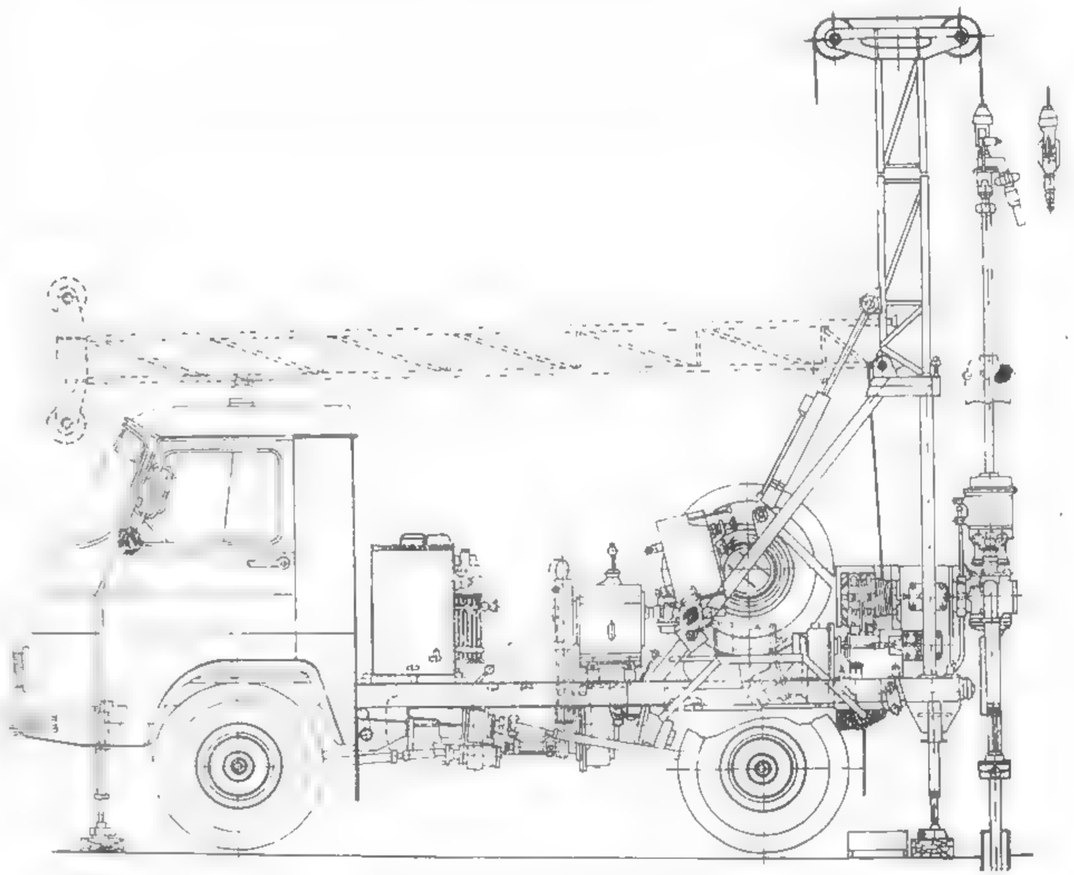


Fig. XI.115. Instalația de foraj SG-150 autotransportabilă (varianta I).

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) cu mast, antrenată de motoare electrice (varianta II și IV). La această variantă agregatul de foraj — același ca la varianta I — este asamblat pe o sanie și antrenat de un motor electric.

Pompa de noroi, antrenată de un motor electric prin transmisii cu curele trapezoidale, constituie un grup electropompă montat deasupra habei de noroi.

De sania agregatului de foraj se prind suporții pe care este articulat mastul.

Instalația de foraj SG-150 staționară (pe sanie) antrenată de motoare electrice, destinată lucrărilor în galerii subterane (varianta III). Această variantă este la fel cu varianta II, cu diferența că nu are mast. Geamblacul se fixează pe două grinzi încastrate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

Varianta	I	II	III	IV
Adîncimea de foraj, cu prăjini:				
— EW — 34,92 mm; $q = 4,54$ kg/m		250 m		
- AW — 44,45 mm; $q = 5,3$ kg/m		180 m		
Diametrul găurii forate				
maxim (inițial)		100 mm		
minim (final)		38 mm		
Sarcina normală la cîrlig		1 100 daN		
Cursa de retractare a agregatului de foraj		275 mm		
Puterea motorului de antrenare a agregatului	13 kW/3 000 rot/min		7,5 kW/1 500 rot/min	
Puterea motorului de antrenare a pompei		5,5 kW		
Numărul treptelor de viteză la troliu		3		
Forța de tracțiune maximă în cablu la toba troliului (cablu Ø 9 mm)		1 150 daN		
Viteza cablului la toba troliului	0,6...2,5m/s		0,3 – 1,25 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ		6		
Turația la capul rotativ	240...1 437 rot/min		125 1 250 rot/min	
Forța maximă de ridicare hidraulică		3 000 daN		
Forța maximă de apăsare hidraulică		2 440 daN		
Cursa fusului principal		550 mm		
Diametrul de trecere prin fus		53 mm		
Unghiul de rotire al capului rotativ		0° la 360°		
Momentul de strîngere la mandrine		33 daNm		
Înălțimea geamblacului în poziția de lucru		6,1m		
Tipul pompei de noroi		3 PN—10		
Numărul habelor de noroi		1		
Capacitatea unei habe		700 l		
Denisipator		Ø 70 mm		
Unghiul pentru foraj înclinat cu mast		numai vertical 90° la 70°		
Masa totală a instalației	2 893 kg;		2 030 kg;	2451 kg
Masa grupului de foraj inclusiv mast	490 kg;	760 kg;	554 kg;	
Masa grupului de pompare	115 kg;		214 kg;	214 kg

3.8.1.3. Instalația de foraj FG-8

Instalația de foraj geologic FG-8 se execută în următoarele variante:

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta termică staționară (varianta I). Instalația de foraj se compune din: grup de foraj, grup de pompare, instalație de noroi, mast cu substructură, echipament de manevră (geamblac, manșon conic, sanie, elevator, cap hidraulic) și baracă.

Grupul de foraj se compune din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o sanie (fig. XI.116).

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurei sondei — făcîndu-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, tobă de manevră și sistem de frînare, cu două capete rotative, mandrine hidraulice și mandrine mecanice, cu diametrul

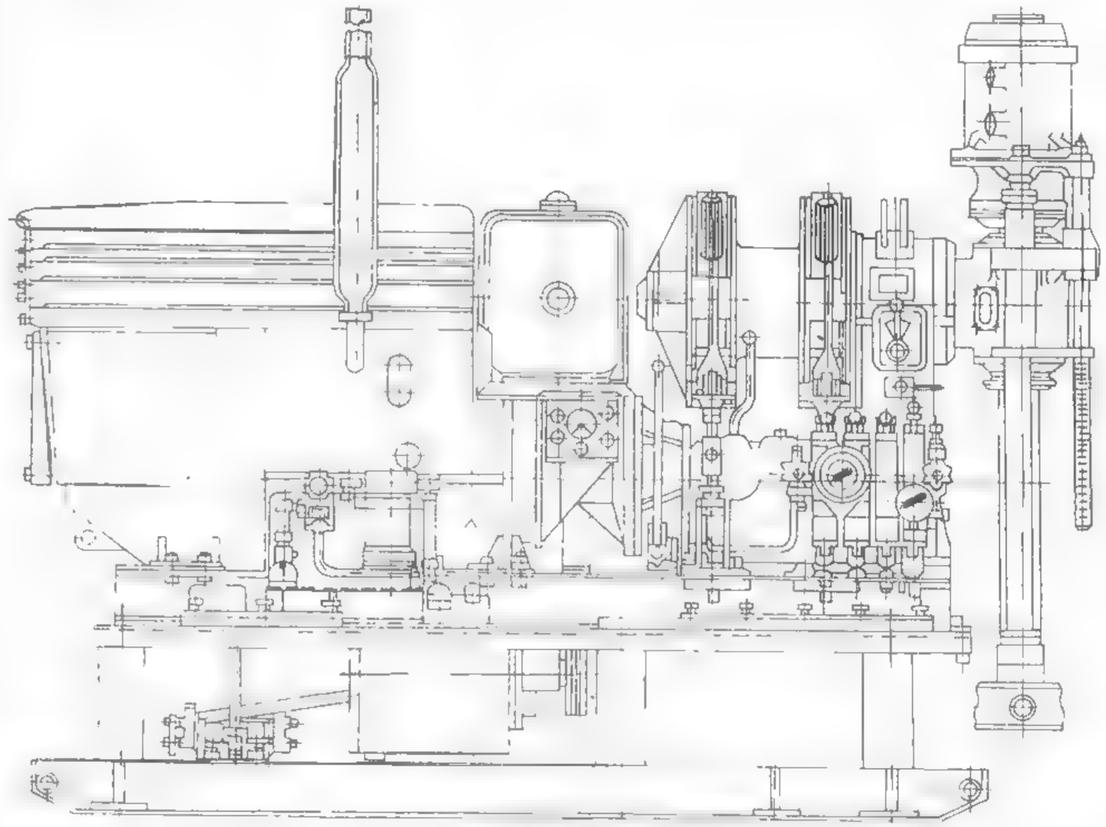


Fig. XI.116. Grupul de foraj al instalației de foraj FG-8, acționat cu motor termic.

interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și tobă carotieră introductibilă-opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic, cu ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale cu debit variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un regulator de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, funcționare cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare, rezervor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de comandă, asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o sanie și se compune dintr-un motor Diesel, ambreiaj, cutie de viteze și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-8 — varianta electrică staționară pe sanie (varianta II). Această variantă este identică cu varianta I, cu deosebirea că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Caracteristici tehnice

	I	II
Adîncimea convențională de foraj cu prăjini		
50 RS — 50 mm		
$q = 6,7$ kg/m	500 m	
SzAW — 44,45 mm		
$q = 5,3$ kg/m	935 m	
SzBW — 53,97 mm		
$q = 6,85$ kg/m	800 m	
SzNW — 66,68 mm		
$q = 8,9$ kg/m	600 m	
BQ — 55,6 mm		
$q = 5,9$ kg/m	800 m	
NQ — 69,9 mm		
$q = 7,6$ kg/m	600 m	
Diametrul găurii forate:		
inițial	151 mm	
final		
coroane cu diamante	59 mm	
- coroane cu carburi metalice	99 mm	
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire):		
- nominal	5 000 daN	
maxim	8 000 daN	
Diametru/lungime cablu manevră	16 mm/50 m	
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului	55 CP/2 400 rot/min. 30 kW/1 460 rot/min	
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi	55 CP/2 400 rot/min; 45 kW/1 465 rot/min	
Cursa de retractare a agregatului de foraj	400 mm	
Numărul treptelor de viteză la troliu	5	
Vitezele de ridicare la cîrlig	0,39...2,62 m/s	
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	10 + 2 rev.	
Turațiile la capul rotativ Ø 76:		
— gama încet	120; 210; 330; 550; 785 rot/min	
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min	
— revers	110; 220 rot/min	

	I	II
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/ min	
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/ min	
— revers	95; 190 rot/min	
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN	
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN	
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min	
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min	
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm	
Diametrul de trecere prin fusul rotativ	76; 92 mm	
Cursa fusului capului rotativ	650 mm	
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°	
Capacitatea în cablul tobei carotierei introductibile	500 daN	
Diam./lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/800 m	
Vitezele cablului	0,142...1,47 m/s	
Grup de pompare acționat independent cu motor	Diesel electric	
Debit teoretic	31—450 l/min	
Pompă de noroi tip	3 PN 40	
Presiunea maximă	100 daN/cm²	
Numărul habelor de noroi	2	
Capacitatea unei habe	2 100 l	
Denisipator	Ø 70 mm	
Mast tip	Construcție metalică rabatabilă	
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0 -45°	
Înălțimea sol — axa geamblacului	14,5 m;	14,5 m
Lungimea pasului de manevră	12,5 m;	12,5 m
Masa instalației cu agregat de foraj și tobă carotieră introductibilă	8 970 kg;	8 360 kg

3.8.1.4. Instalația de foraj FG-5

După destinație, energia de acționare și gradul de mobilitate, instalația se execută în patru variante:

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică, transportabilă (pe remorcă) antrenată de un motor Diesel (varianta I). Instalație de foraj (fig. XI.117) se compune din grup de foraj, grup de pompare, instalația de noroi, mast cu substructură și echipament de manevră.

Grupul de foraj este compus din agregat de foraj și grup motor Diesel montate pe o remorcă monoax.

Motorul de acționare împreună cu agregatul de foraj formează o construcție unitară, retractarea din poziția de foraj în poziția de manevră — eliberarea gurii sondei făcîndu-se împreună.

Agregatul de foraj se compune din următoarele subansamble: cuplaj elastic, ambreiaj, cutie de viteze, cutie de distribuție, tobă de manevră și sistem de frînare,

cîte două capete rotative, mandrine, mandrine hidraulice și mandrine mecanice [illegible] diametrul interior al fusului de 76 mm și de 92 mm și tobă carotieră introdusă opțional. Comenzile agregatului de foraj se execută manual, iar avansarea sapei, prinderea prăjinii de antrenare și retractarea agregatului de foraj se fac hidraulic [illegible] ajutorul unei instalații hidrostatice prevăzută cu o pompă cu pistoane axiale [illegible]

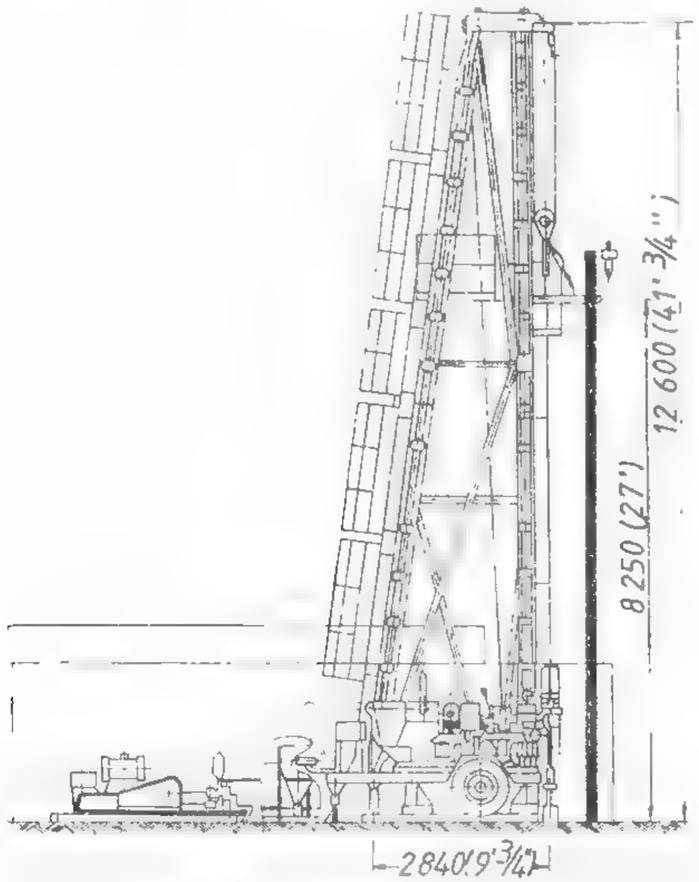


Fig. XI.117. Instalația de foraj FG-5 transportabilă (pe remocră), varianta I.

variabil și o pompă manuală. Pompa cu debit variabil este dotată cu un [illegible] de presiune care adaptează automat debitul pompei la regimul de lucru, fe[illegible] cu consum minim de putere pentru carotaj cu apăsare hidraulică.

Grupul motor Diesel conține instalația de răcire, instalația de alimentare [illegible] zor de motorină, sistemul de comandă, instalația electrică și pupitrul de [illegible] asamblate într-o unitate distinctă.

Grupul de pompare este montat separat pe o remor[illegible] și se [illegible] dintr-un motor Diesel și pompă de noroi.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta termică pe sanie (varianta II). Instalația are componența primei variante, avînd agregatul de foraj și grupul de pompare staționare, montate pe sanie.

Instalația de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie (varianta III). Această variantă este identică cu varianta II, cu deosebire că grupurile motor Diesel sînt înlocuite cu cîte un motor electric.

Instalație de foraj geologic FG-5 — varianta electrică pe sanie în montaj pentru subteran (varianta IV). Această variantă este identică cu varianta III, cu deosebire că nu are mast. Geamblacul este fixat pe două grinzi încastrate în pereții galeriei subterane.

Caracteristici tehnice

	I	II	III	IV
Adîncimea de foraj cu prăjini:				
50 RS — 50 mm				
$q = 6,7$ kg/m	300 m			
SzaW — 44,45 mm				
$q = 5,3$ kg/m	600 m			
SzBW — 53,97 mm				
$q = 6,85$ kg/m	500 m			
SzNW — 66,68 mm				
$q = 8,9$ kg/m	400 m			
BQ — 55,6 mm				
$q = 5,9$ kg/m	500 m			
NQ — 69,9 mm				
$q = 7,6$ kg/m	400 m			
Diametrul găurii forate				
inițial	151 mm			
final				
— coroane cu diamante	59 mm			
— coroane cu carburi metalice	99 mm			
Capacitatea de ridicare la cîrlig (sistem de manevră pe 2 fire)				
— nominal	3 200 daN			
— maxim	5 000 daN			
Diametru/lungime cablu manevră	16 mm/50 m			
Puterea/turația motorului de antrenare a agregatului	45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min			
Puterea/turația motorului de antrenare a pompei de noroi	45 CP/2 400 rot/min; 22 kW/1 450 rot/min			
Cursa de retractare a agregatului de foraj	400 mm			
Numărul treptelor de viteză la troliu	5			
Vitezele de ridicare la cîrlig	0,39...2,62 m/s			
Numărul treptelor de viteză la capul rotativ	10 + 2 rev.			
Turațiile la capul rotativ				
— Ø 76				
— gama încet	120; 210; 330; 550; 785 rot/min			

	I II III IV
— gama repede	245; 420; 660; 1 100; 1 570 rot/min
— revers	110; 220 rot/min
Ø 92	
— gama încet	100; 180; 280; 465; 665 rot/min
— gama repede	200; 360; 560; 930; 1 330 rot/min
revers	95; 190 rot/min
Forța de ridicare hidraulică	10 000 daN
Forța de apăsare hidraulică	7 500 daN
Viteza de ridicare fus max.	4 m/min
Viteza de coborîre fus max.	5,35 m/min
Moment max. la capul rotativ	240/360 daNm
Diametrul de trecere prin fus	76; 92 mm
Cursa fusului capului rotativ	650 mm
Unghiul de rotire al capului rotativ	0° la 360°
Capacitatea în cablul tobei carotierei introductibile	500 daN
Diam/lungime cablu carotieră introductibilă	6 mm/600 m
Vitezele cablului	0,142... 1,47 m/s
Grup de pompare acționat cu motor	Diesel; Diesel; electric; electri
Debit teoretic	26—317 l/min
Pompă de noroi	3 PN — 20
Presiunea maximă	63 daN/cm²
Numărul habelor de noroi	2
Capacitatea unei habe	2 100 l
Denisipator	Ø 70 mm
Mast tip	construcție metalică rabatabilă
Unghiul de foraj înclinat cu mast	0 45°
Înălțimea sol-axa geamblacului	14,5 m; 14,5 m; 14,5 m; 6 14,5 m
Lungimea pasului de manevră	12,5 m; 12,5 m; 12,5 m
Masa instalației de foraj cu toba carotieră introductibilă	9 040 kg; 8 040 kg; 7 260 kg; 4 740 kg

3.8.1.5. Instalația de foraj FG-1,2 M

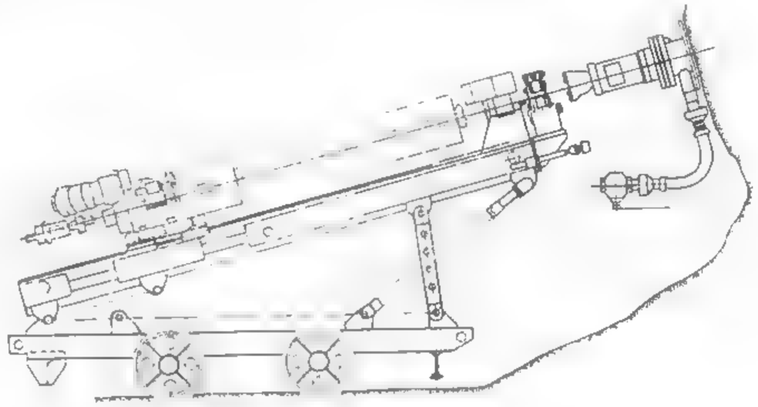
Instalația de foraj FG-1,2 M (fig. XI.118) este destinată cercetărilor [illegible] prin foraj și carotaj.

Se mai poate utiliza și pentru cercetări și amenajări hidrotehnice, consolidări de fundații, pozare de cabluri pe sub drumuri (terasamente) etc. Cu o dotare specială poate fi utilizată și la săparea de găuri de degazare și control.

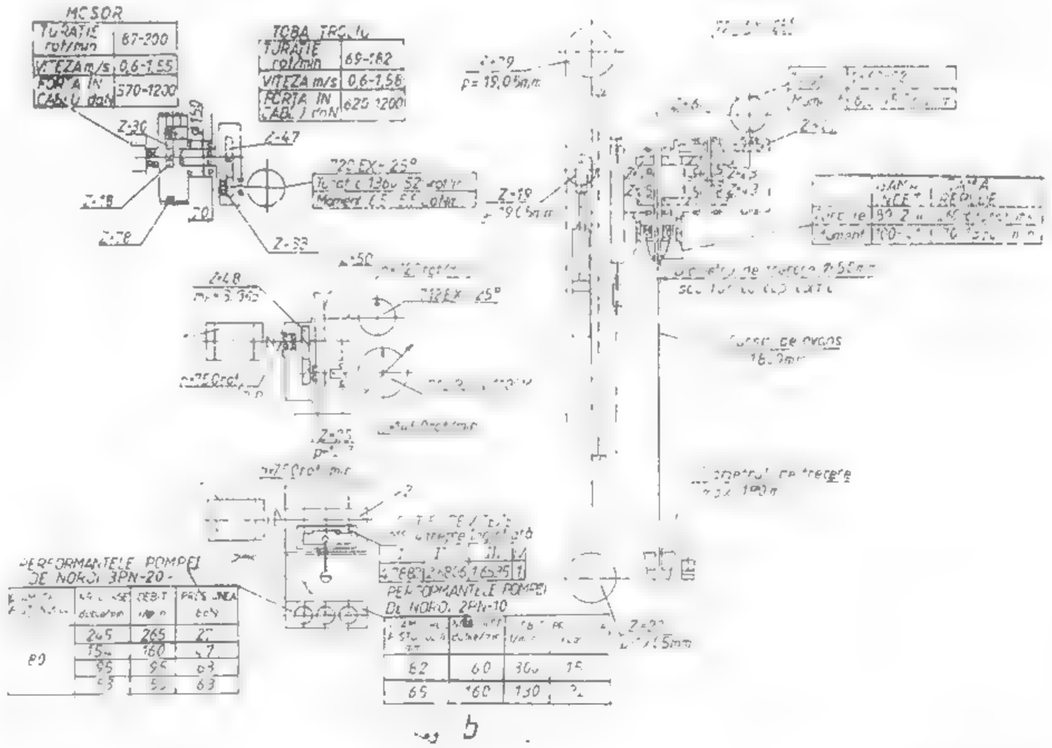
Instalația este cu transmisie hidrostatică. Se poate executa montată [illegible] le zăgonet de mină sau staționară pe sănii. Cuprinde: grupul de foraj, grupul de acționare, grupul motopompă și instalație de noroi.

Grupul de foraj are o sanie cărucior pe care se montează agregatul de foraj format dintr-o ramă (cadru de avans). Pe cadrul de avans se montează broșca și centratorul de prăjini. Pe un cărucior cu roți de mină (sau pe sanie) se montează motorul de acționare.

Grupul de pompare are un cărucior cu roți de mină pe care se montează motorul de acționare, pompa de noroi, furtunuri, robinеți etc., putînd fi cu pompă 3PN-10 sau 2PN-10.



a



b

Fig. XI.118. Instalația de foraj FG-1,2 M:
1 — [illegible] de ansamblu, [illegible] cinematică (1) — motor [illegible] electric, 2 — pompă de noroi, [illegible]

Caracteristici tehnice

Adîncimea nominală de foraj:	
cu coroane cu diamante și prăjini AW Ø 44,5 mm; $q = 5{,}3$ kg/m	200 m
— cu sape și prăjini BW Ø 54 mm; $q = 6{,}85$ kg/m	150 m
Diametrul găurii forate:	
— maxim (inițial)	200 mm
- final cu diamante	48 mm
- final cu sape (roci semitari)	93 mm
Capacitatea de manevră	
— extragere	0...2,4 t
— introducere	0...2,3 t
- apăsare	0...2,3 t
Viteza de manevră:	
— extragere	0...0,44 m/s
- introducere	0...0,33 m/s
Cursa de manevră	1 800 mm
Cap rotativ — turații/moment (diam. de trecere Ø 58 mm): — treapta încet	0...80...214 rot/min 0...100 daN·m
— treapta repede	0...260...685 rot/min 0...30 daN·m
Unghiul de foraj posibil	0...360°
Gabarite $L \times B \times H$:	
— grup foraj	3 100 × 400 × 925 m
— grup acționare	1800 × 600 × 900 m
— grup preparare	1100 × 600 × 680 m
Masa netă:	
- acționare pneumatică:	
— complet normal	2010 kg
— complet opțional	3820 kg
— acționare electrică:	
— complet normal	1630 kg
— complet opțional	3780 kg
Cărucior de mină ecartament/ampatament	630/1000 m 630/800 m

3.8.1.6. Instalația de foraj FG-0,63 D

Instalația de foraj FG-0,63 D (fig. XI.119) este destinată cercetărilor geologice pentru substanțe utile solide sau fluide, dar și pentru lucrări geotehnice, consolidări etc.

Instalația se execută în două variante, după modul de transport, pe roți de [illegible] gonet sau pe sanie.

Acționarea se face cu motoare pneumatice cu pistoane radiale sau electrice.

Instalația este cu transmisie hidrostatică și cuprinde: agregatul de foraj, grupul de pompare noroi, instalația de prevenire a erupțiilor și instalația de noroi.

Agregatul de foraj este format din două unități montate pe o sanie: cadrul de avans și unitatea de putere.

Grupul de avans are prevăzute la extremități șuruburi cu plăci de reazem pe sol și se poate monta și independent de unitatea de putere.

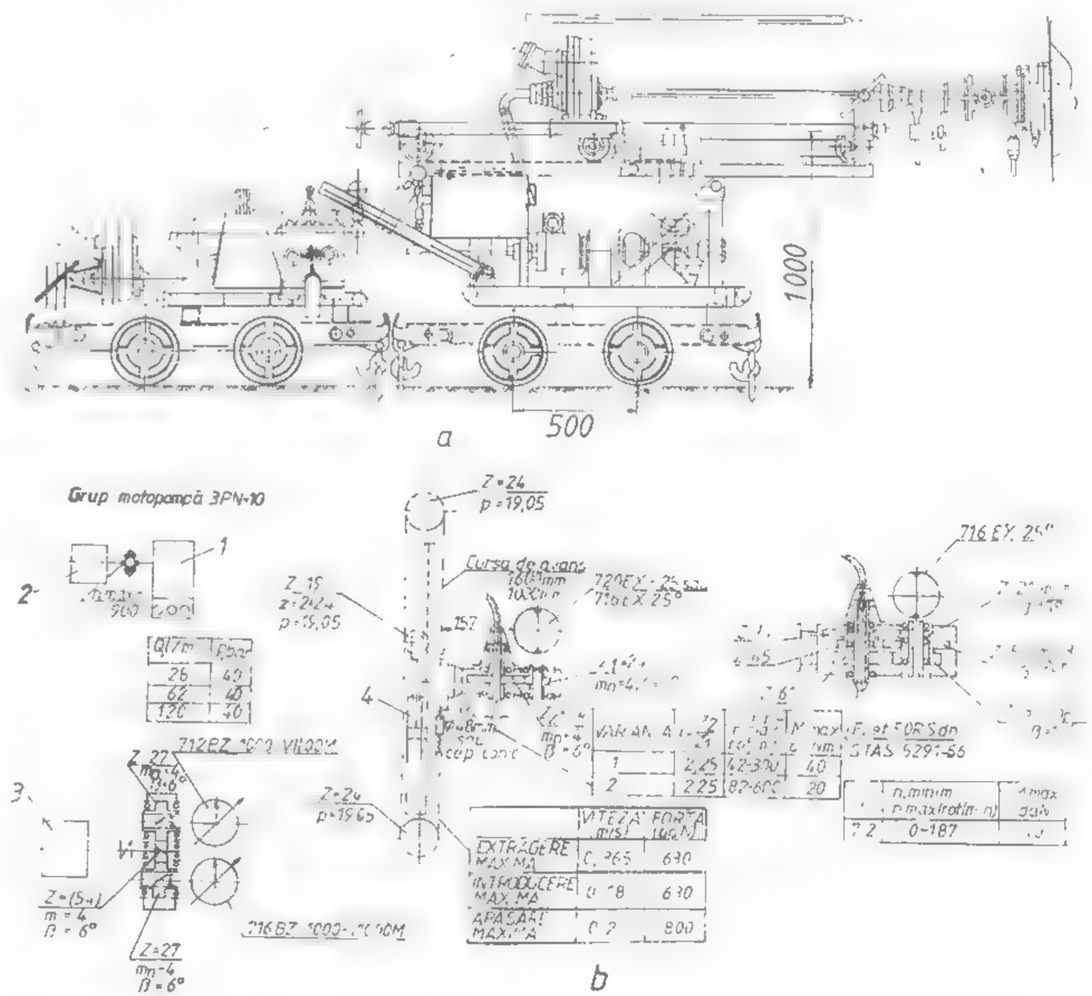


Fig. XI.119. Instalația de foraj FG-0,63 D:

[illegible] vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică (*1* — pompă de noroi 3 PN—10; *2* — motor pneumatic cu pistoane radiale; *3* — [illegible] hidraulic cursa 800 mm, 500 mm).

Grupul de pompare este format din motorul de antrenare, cuplajul periflex și pompa tip 3PN-10, totul montat pe o sanie.

Instalația de prevenire a erupțiilor este formată în principal de un preventor vertical și unul orizontal.

Caracteristici tehnice

	I (pe sanie)	II (pe vagonet)
Adîncimea de foraj cu prăjini		
EW — 34,9 mm; q = 4,5 kg/m		110 m
AW — 44,5 mm; q = 5,3 kg/m		100 m
Diametrul găurii forate:		
— maxim (inițial)		120 mm
— minim (final)		48 mm
Capacitatea de manevră:		
— extragere		0...0,5 t
— introducere		0...0,45 t
Viteza de manevră:		
— extragere		0,4 m/s
— introducere		0,3 m/s
Cursa de avans		1 800 mm
Cap rotativ: turație	0...600	0...200 rot/min
moment	0...12	0...40 daNm
Unghiul de foraj		0—360
Pompa de noroi		tip 3PN-10

3.8.2. ALTE TIPURI DE INSTALAȚII DE FORAJ

3.8.2.1. Instalația de foraj SBA-500

Instalația este folosită pentru forarea rotativă a găurilor de sondă verticale și înclinate, cu adîncimea pînă la 500 m, cu diametrul final de 59 mm.

Prin gama largă de viteze de rotație ale garniturii de foraj (120 pînă la 1015 rot/min), cu această instalație se poate fora în condiții diferite atît cu aliaje dure cît și cu coroane cu diamante.

Pe de altă parte, prezența indicatorului de presiune și a kilowattmetrului permite controlul principalilor parametri ai procesului de foraj și alegerea vitezelor la operațiile de manevră.

În funcție de felul acționării și turația axului de rotație, instalația de foraj SBA-500 se livrează în patru variante:

— SBA-500 GE acționată cu motor electric;

— SBA-500 GD — identică din punct de vedere constructiv cu SBA-500 GE însă acționată cu motor Diesel;

— SBA-500 E cu axul de acționare prevăzut cu două mandrine hidraulice și instalație hidraulică care asigură prinderea automată a garniturii de prăjini, fără oprirea rotației sau deconectarea instalației de la motorul electric;

— SBA-500 D, analoagă cu instalația SBA-500 E, însă acționată cu motor Diesel (fig. XI.120).

Caracteristici tehnice:

Adîncimea de foraj cu prăjini de Ø 50 mm	
— la diametrul final al găurii de sondă Ø 93 mm	300 m
— la diametrul final al găurii de sondă Ø 59 mm	500 m
Diametrul inițial de foraj	151 mm

Fig. XI.120. Ansamblul instalației SBA-500

1 — D37—E; 2 — tablou de comandă și control; 3 — rezervor de combustibil; 4 — apărătoarea pompei; 5 — generator LS—82; 6 — apărătoarea axului [illegible]

Diametrul de trecere al axului vertical	52 mm
Unghiul de foraj față de verticală	90°—45°
Diametrul prăjinilor de foraj	30—42 mm
Avansarea garniturii de foraj	hidraulică
Cursa axului universal	400 mm
Turația axului	120, 195; 250; 430; 700; 1015 rot/min
Viteza maximă de coborîre a garniturii de prăjini	peste 1,1 m/min
Viteza maximă de ridicare a garniturii de prăjini	peste 0,83 m/min
Acționarea instalației	cu motor electric
Puterea	22 kW; 40 CP
Dimensiunile instalației acționată cu motor electric:	
— lungimea	1670 mm
— lățimea	1 130 mm
— înălțimea	1 620 mm
Masa	1 350 kg

Instalația de foraj SBA-500 este prevăzută cu panou de comandă electrică cu aparatură electrică de pornire și de protecție.

3.8.2.2. Instalația de foraj URB-3AM

Instalația, destinată pentru forajul sondelor verticale cu masă rotativă și circulație directă, este compusă din blocul de foraj, montat pe șasiul autocamionului MAZ cu subansamble auxiliare și utilaje anexă (fig. XI.121). Acționarea mecanismelor se realizează de la o sursă autonomă.

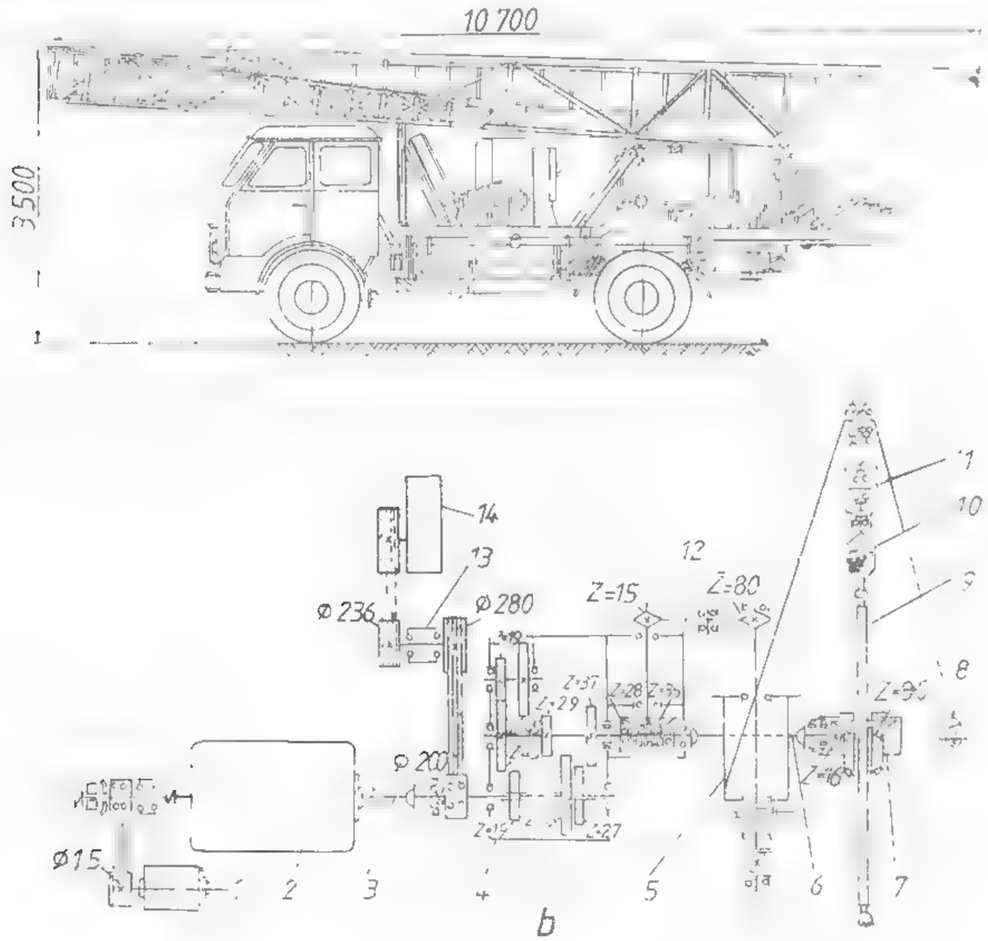


Fig. XI.121. Instalația de foraj autotransportabilă URB-3AM:

a — vedere de ansamblu; *b* — schemă cinematică: 1 — generator; 2 — motor de acționare; 3 — ax cardanic; 4 — cutie de transmisie; 5 — troliu; 6 — ax cardanic pentru acționarea mesei rotative; 7 — masă rotativă; 8 — indicator de masă; 9 — prăjină pătrată; 10 — vîrtej; 11 — bloc de foraj; 12 — transmisie cu lanț; 13 — aparat de control; 14 — pompă de noroi

[illegible]

Adîncimea [illegible] (cu prăjină)
— cu [illegible] mm — 500 m
— cu [illegible] — 300 m

Diametrul de foraj (recomandat)	
- de începere	243 mm
- final	76 mm
Modul de acționare	motor D 54; 54 CP 1300 rot/min
Troliul	funcțion. cu 2 mufe cu 2 discuri, acționat cu lanț, frînă cu o bandă și tamburi ajutători
Mastul	rabatabil cu front des[illegible]
Înălțime	16 m
Acționarea	transmisie cardanică
Orificiul de trecere	250 mm
Turația mesei: direct	110; 190; 314 rot/min
invers	46 rot/min
Pompa de noroi	tip 11 GRT
Gabaritele blocului de foraj (poziție de transport)	
lungime	10 700 mm
lățime	2 800 mm
înălțime	3 500 mm

Construcție și funcționare. Pentru acționarea mecanismelor, puterea se transmite [illegible] motorul 2 (fig. XI.121, *b*) prin intermediul unui ax cardanic 3, la cutia de transmisie 4, care servește pentru acționarea principalelor mecanisme: troliu, masă rotativă și pompă de noroi.

Troliul 5 este acționat cu ajutorul lanțului 12 și a steluțelor Z = 15 și Z = 80 de la axul cutiei de transmisie. Rotația este transmisă la masa rotativă 7 de la axul principal al cutiei de transmisie cu ajutorul mufei danturate și a axului cardanic 6; la pompa de noroi 14 rotația se transmite de la axul principal al cutiei de transmisie, în intermediul curelelor trapezoidale.

3.8.2.3. Instalația de foraj AVB-TM

Instalația de foraj mobilă AVB-TM (fig. XI.122) este destinată pentru forajul sondelor de exploatare și exploatare pînă la adîncimea de 100 m cu prăjini de 60,3 mm. Forajul se efectuează rotativ, cu spălare cu noroi sau apă.

Toate mecanismele sînt montate pe tractorul cu șenile pentru terenuri accidentate.

Instalația AVB-TM este compusă din: cutie de viteză, reductor, masă rotativă, troliu, pompă de noroi, cap hidraulic cu dispozitiv de fixare-culisare, mast, troliu manual, mecanisme de comandă ale instalației, transmisia acționării malaxorului de noroi.

Acționarea instalației se realizează de la motorul tractorului, printr-o cutie de viteze cu 4 trepte, fixată pe puntea din spatele acestuia. Cutia de viteze cu ajutorul transmisiei cu lanț comunică cu reductorul.

Reductorul este mecanismul de distribuție pentru acționarea mesei rotative, troliului și a pompei de noroi. Cuplarea acestor mecanisme se face cu ajutorul unor [illegible] de cuplare și a unui pinion mobil. La capătul reductorului este fixată masa rotativă.

Principalele caracteristici tehnice ale instalației:

Adîncimea de lucru (cu prăjini Ø 50)		100 m
Diametrul de foraj:	inițial	112 mm
	final	93 mm (cu care s-a atins în mod practic adîncimi pînă la 250 m)

Agregatul de foraj și pompa sînt antrenate de către motorul tractorului (100 CP la o turație de 1 050 rot/min)

Sarcina maximă în cîrlig	1 250 daN
Numărul treptelor de viteză la masă:	$n_1 = 44$ rot/min; $n_2 = 91$ rot/min $n_3 = 166$ rot/min; $n_4 = 210$ rot/min
Prăjină de antrenare hexagonală	O 2 $^7/_8$ in.

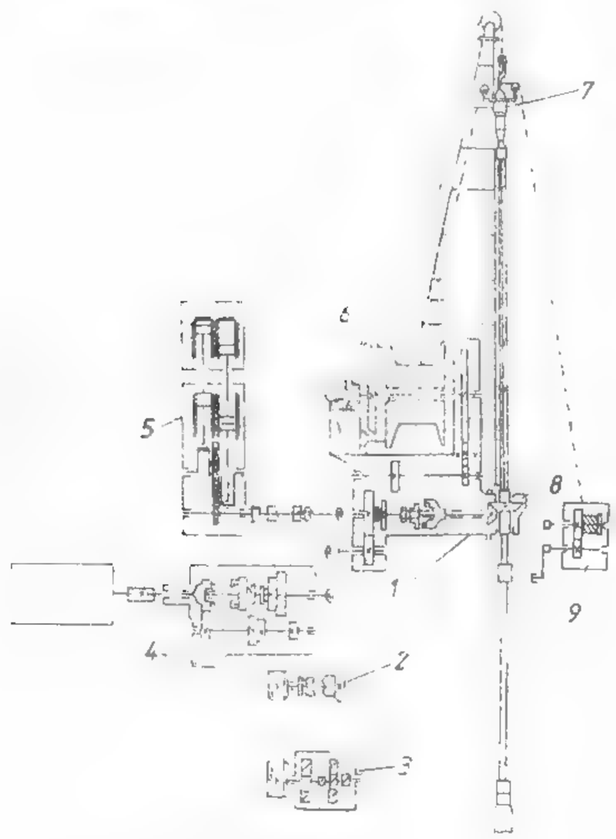


Fig. XI.122. Schema cinematică a instalației de foraj AVB-TM:

1 — reductor; *2* — dispozitiv de acționare a malaxorului de noroi; *3* — malaxor de noroi; *4* — cutie de viteză; *5* — pompă de noroi 250/50 A; *6* — troliu mecanic; *7* — cap hidraulic de presiune; *8* — masă rotativă; *9* — troliu manual

Sistemul de avansare	mecanic
Înălțimea mastului	9 m
Diametrul cablului de foraj	13 mm
Pompa de noroi tip AVB-TM	200 l/min
cu o singură treaptă de viteză, debit	(0,0033 m³/s).

3.8.2.4. Instalația de foraj BSK

Sondezele din această grupă sînt instalații ușoare cu care se execută foraje pînă la 150 m, destinate cercetării geologice sau studiilor geotehnice.

Din punct de vedere constructiv se caracterizează prin lipsa tobei și a stîlpului (mastului). Extragerea și introducerea garniturii de săpare în această formă constructivă se execută cu ajutorul cilindrilor hidraulici de avansare.

Viteza de extragere este de 0,15—0,17 m/s. Din grupa instalațiilor ușoare BSK face parte sondeza BSK-4, al cărui mecanism de avansare constă dintr-un singur cilindru hidraulic, sondeza BSK-2, sondeza BSK-3 și BSK-2M-1-100.

Caracteristicile tehnice ale instalației BSK-2M-1-100 sînt

Adîncimea de foraj	100 m
Diametrul maxim de începere	93 mm
Diametrul final cu diamante	36 mm
Diametrul prăjinilor de foraj	42 și 33,5 mm
Electromotor pentru acționare	7,5 kW
Numărul treptelor de viteză	2
Turațiile capului rotativ	300 și 600 rot/min
Debitul pompei	3,5 l/min
Masa agregatului	450 kg

3.8.2.5. Instalația de foraj ZIF-1200

Sub aspectul adîncimilor de foraj, sondeza ZIF-1 200 face tranziția între forajul de adîncime medie și forajul de mare adîncime.

Prin construcția sa, sondeza ZIF-1 200 prezintă aceleași avantaje în comparație cu alte sondeze, în ceea ce privește posibilitatea realizării unui foraj rapid, reglarea precisă a presiunii pe talpă, rapiditatea în execuția manevrelor etc.

Părțile componente ale instalației sînt: granicul de foraj *2* cu motorul electric *3*; pompa de noroi cu motorul electric al acesteia *4* (fig. XI.123).

Granicul de foraj este fixat pe același postament *1* cu motorul electric și așezat pe fundație de beton. Pompa de noroi cu electromotorul său se așază pe fundament separat.

Granicul de foraj constă din: rama cu accesoriile respective, postamentul, cilindrii pentru deplasarea granicului, rezervorul de ulei, cutia de viteze, dispozitivul hidraulic de dirijare, troliul, frîna de coborîre, frîna de ridicare, universalul, mandrina inferioară, mandrina superioară, pompa hidraulică de ulei, conductele pentru ulei, indicatorul de greutate pe talpă, instalația electrică și pompa de ulei manuală.

Modul de funcționare a sondezei. Mișcarea de la electromotorul de acționare a sondezei ZIF-1 200-A se transmite cutiei de viteze prin intermediul ambreiajului. Cu ajutorul cutiei de viteze mișcarea este transmisă mai departe la axul tobei, prin cele patru viteze.

Presiunea pe talpă se realizează prin sistemul hidraulic al agregatului. Din rezervorul de ulei, pompa refulează uleiul la dispozitivul de dirijare hidraulic și de aici trece la cilindrii dispozitivului de avansare.

Apăsarea necesară pe talpă se obține prin reglarea presiunii de ulei în conducta principală de refulare cu ajutorul dispozitivului de dirijare. Urmărirea apăsării pe talpă se face cu ajutorul indicatorului de greutate.

Punerea în funcțiune a sondezei ZIF-1 200-A și asigurarea funcționării în timpul forajului se face prin intermediul manetelor acționate de sondor.

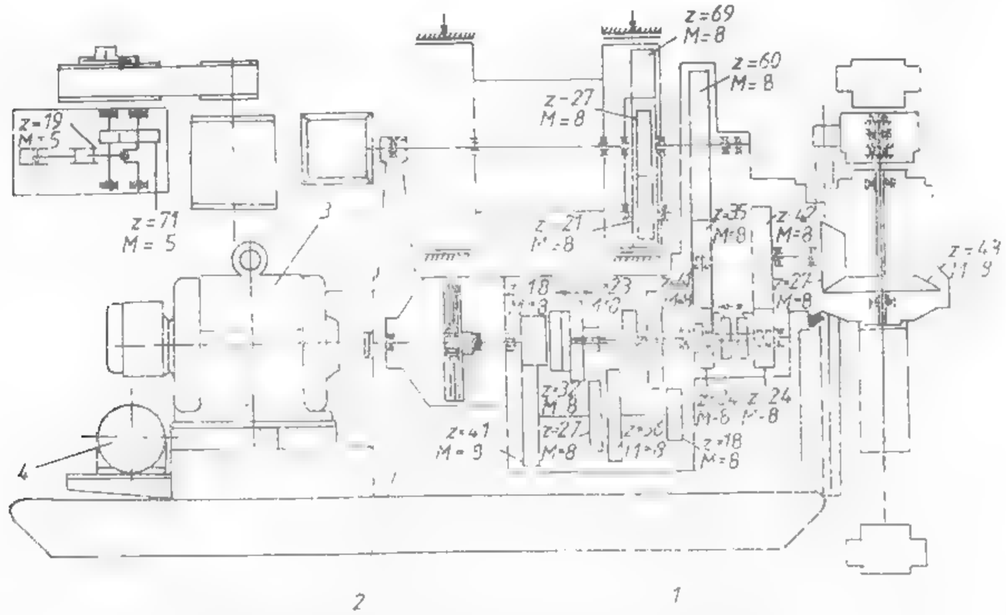


Fig. XI.123. Schema cinematică a instalației de foraj ZIF-1200 A.

3.8.2.6. Instalația de foraj GP-I pentru subteran

Cu ajutorul ei se pot fora găuri de sondă sub orice unghi de înclinare, pînă la adîncimea de 100 m.

Sondeza este acționată de un motor electric de 4,5 kW, ce se alimentează de la rețeaua electrică subterană. Manevrarea sondezei se face hidraulic.

Granicul de foraj constă din: postamentul inferior, postamentul superior, carcasa dispozitivului de rotire, universalul, cutia de viteze, postamentul motorului electric, toba pentru extragerea garniturii de foraj.

Schema cinematică și modul de funcționare sînt redate în fig. XI.124.

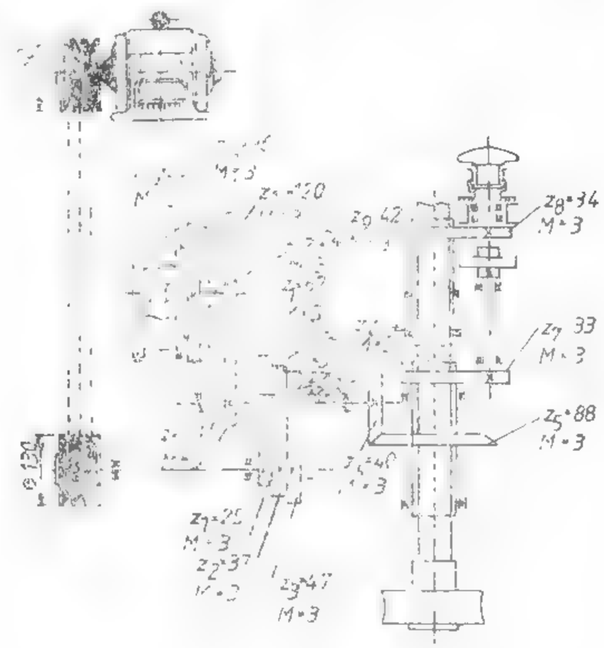
3.8.2.7. Instalația de foraj DIAMEC-250

Sondeza (fig. XI.125), de construcție suedeză, este destinată pentru executarea lucrărilor geologice în subteran, putînd fora găuri de sondă înclinate sub orice unghi pînă la adîncimea de 250 m și cu un diametru final de 36 mm, cu coroane cu diamante.

Instalația are în componența sa următoarele părți:

- dispozitivul de avansare construit în două dimensiuni: de 850 mm, utilizat pentru forarea găurilor verticale în sus și în jos și de 1 600 mm pentru forarea găurilor orizontale;
- dispozitivul de rotire, prevăzut cu o țeavă de ghidaj cu diametrul interior de 58 mm, pentru folosirea prăjinilor cu diametrul pînă la 66 mm. Este acționat cu un motor hidraulic care pune în mișcare țeava de ghidaj printr-o pereche de roți dințate;

Fig. XI.124. Schema cinematică a instalației de foraj GP-I



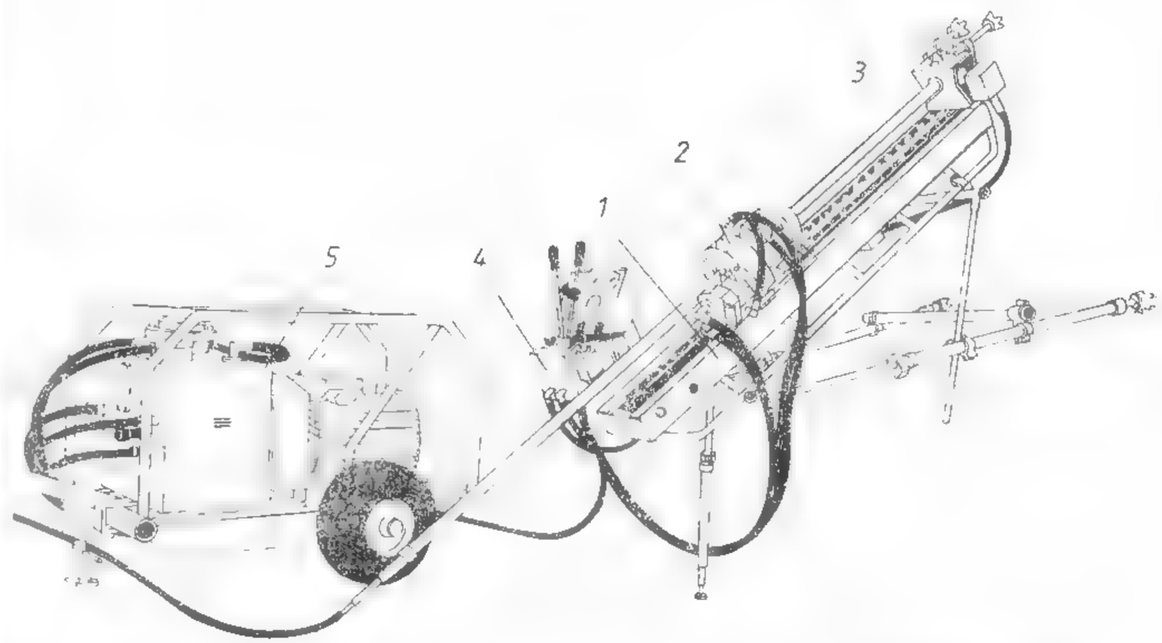


Fig. XI.125. Instalația de foraj Diamec 250:
1 — dispozitiv de avansare; 2 — dispozitiv de rotire; 3 — dispozitiv de prindere a prăjinilor; 4 — pupitru de comandă; 5 — grup electric.

— echipamentul de prindere a prăjinii, amplasat la capătul frontal al dispozitivului de urcare;

— panoul de comandă cu manetele de acționare.

Instalația este acționată de un motor electric sau un motor cu aer comprimat de 16 CP (11,7 kW).

Agregatul de foraj are masa de circa 300 kg.

3.8.2.8. Instalația de foraj Longyer 34

Este de construcție americană fiind destinată forajului de explorare. Datorită gabaritului său redus, instalația poate fi folosită și în subteran.

Acționarea se face fie de la un motor termic de 11,5 CP (7,7 kW), fie de la un motor pneumatic de 12 CP. Pompa de noroi are un debit de maximum 150 l/min.

Instalația este prevăzută cu o tobă cu angrenaj planetar. Manevrarea carotierei introducibile se face cu o tobă solidarizată de granic.

3.9. INSTALAȚII DE SUPRAFAȚĂ ȘI ANEXE

Instalațiile de suprafață în foraj sînt destinate pentru protecția utilajului și a personalului, precum și pentru susținerea și manevrarea garniturii de foraj.

Pentru protecția utilajului și a personalului de intemperiile atmosferice se construiește o *baracă* ce adăpostește întreg agregatul de foraj, iar pentru susținerea și manevrarea garniturii se instalează deasupra găurii de sondă o construcție specifică numită *turlă*, în cazul sondelor de adîncime mare, *trepied* sau *mast* în cazul sondelor de adîncime mai mică.

În afară de turlă și baraca agregatului de foraj, în imediata apropiere a instalației se sapă *bataiele pentru noroi* și se aranjează *sistemul de jgheaburi* pentru circulația noroiului.

Pentru alimentarea cu apă se instalează conductele respective și se amenajează drumul pentru transportul diferitelor materiale la sondă.

Construcția diferitelor tipuri de turle și barăci depinde de natura lucrărilor de foraj și de sezonul în care se lucrează.

Dimensionarea turlei și a barăcii trebuie astfel făcută încît să asigure securitatea lucrărilor și instalarea regulamentară a utilajului de foraj.

Pentru adîncimi mici sînt tipizate instalații de foraj în formă de trepied cu înălțimea de 9 m, cu suprafața (trepied + baracă) de 4,5 × 9 m sau instalații de 12 m, 18 și 22 m înălțime cu turlă de tip dreptunghiular, cu suprafața variind între 4,5 × 9 m și 6 × 11 m.

La construcțiile destinate forajului pînă la 300 m adîncime se planifică săpături la gura sondei, pentru amenajarea terenului și săparea puțului, de 10 m³. La adîncimi de foraj de peste 300 m, volumul de săpături pentru instalarea construcțiilor de suprafață inclusiv săparea puțului se evaluează la 40 m³.

Turla. Ca formă turla este un triunchi de piramidă cu baza pătrată. Înălțimea turlei se determină prin lungimea completă a garniturii de foraj, prăjina grea și racordul pentru cablu și este construită din oțel. Partea de sus în care se încheie turla și pe care se așază geamblacul se numește *coroană*.

Turla metalică prezintă o serie de avantaje: este solidă, se poate transporta ușor, poate fi ușor și repede montată și demontată și nu prezintă pericol de incendiu.

Turla se sprijină pe fundații ale căror mărimi și forme depind de natura terenului și de înălțimea turlei. În forajul de explorare fundațiile turlei se rezumă la un cadru de grinzi parțial îngropate în pămînt.

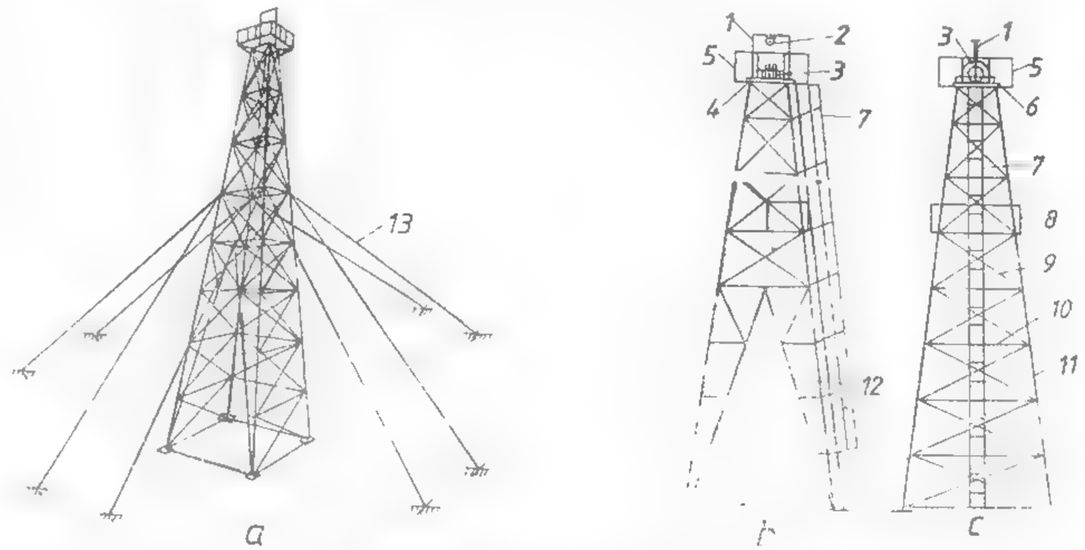


Fig. XI.126 Turlă pentru sondeze

a — vedere de ansamblu; *b* — vedere din față; *c* — vedere laterală; *1* — capra geamblacului; *2* — rigele; *3* — geamblac; *4* — coroana turlei; *5* — balustradă; *6* — platforma geamblacului; *7* — scara turlei; *8* — platforma podului; *9* — diagonală; *10* — orizontală; *11* — picior; *12* — poarta turlei; *13* — ancore

Părțile componente ale turlei sînt: capra geamblacului, grinzile coroanei, platforma geamblacului, podul și platforma podarului, degetele pentru stivuirea pașilor, scările de acces și platformele de repaus (fig. XI.126).

Trepiedul. La forajul sondelor de mică adîncime, turla este înlocuită de un trepied. Capetele de jos ale trepiedului se reazemă pe o ramă triunghiulară de 30/25 cm. Capetele de sus sînt reunite și fixate printr-un bulon.

Alegerea tipului de trepiede și fixarea înălțimii lor depinde de lungimea prăjinii și de așezarea corectă a agregatului de foraj.

Mastul. Pentru forajul de mică adîncime, pînă la 400—500 m, trepiedul poate fi înlocuit prin mast (un stîlp cu unul sau două picioare) (fig. XI.127). El este legat de șasiul instalației sau al camionului și ancorat cu două cabluri.

Masturile prezintă avantajul că sînt ușoare și se manipulează repede, nu necesită fundații, însă folosirea lor este limitată de adîncimea la care se forează.

În prezent marea majoritate a instalațiilor de foraj moderne sînt dotate cu mast. La unele tipuri de instalații autopurtate mastul se rotește pe o capră și se transportă odată cu instalația. Rabatarea se face mecanic de către agregatul de foraj.

În tabelul XI.47 sînt prezentate caracteristicile masturilor pentru sondeze, conform STAS [illegible] 83.

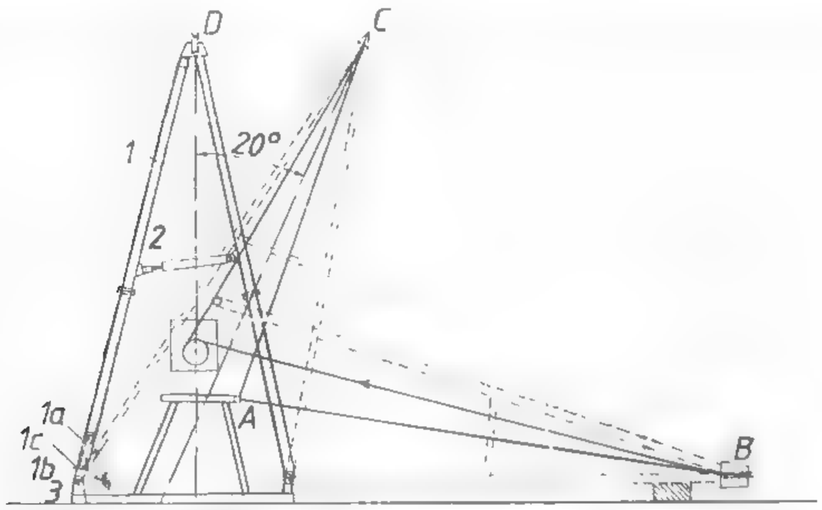


Fig. XI.127. Schema de ridicare a mastului instalației SG-150:

1 — montant; *2* — suport; *3* — bolț; *A* — suport; *B, C, D* — diferite poziții ale mastului în cursul ridicării.

Tabelul XI.47

Caracteristicile masturilor pentru sondeze

Caracteristici principale	Mărimea mastului						
	M 1,2	M 3,2	M 5	M 8	M 12,5	M 20	M 32
Sarcina maximă $(Q)_{max}$, kN	12	32	50	80	125	200	320
Sarcina normală la cîrlig (O_n), kN	6,3	20	32	50	80	125	200
Înălțimea liberă a mastului (H), m	3,5	—	12	16,2	—	24	.
Distanța între montanții mastului, m	0,5	—	—	4,0	—	5,0	—
Lungimea maximă a pasului de prăjini, m	3,0	—	9,5	13,0	—	18,	—
Unghiul de înclinare maximă a mastului față de verticală	45°	45°	30°	20°	15°	15°	15°
Instalațiile pe care le echipează mastul	I 1,2	FG 3,2	FG 5	FG 8	FG 12	FG 20	FG 32

3.10. INDICATORI TEHNICO-ECONOMICI ÎN ACTIVITATEA DE FORAJ

Activitatea de foraj este urmărită printr-o serie de indicatori tehnico-economic care pot fi grupați în:

- indici de utilizare;
- indicii procesului tehnologic;
- indicii de consum — recuperajul de carote;
- productivitatea muncii și costurile de producție.

Indicii de utilizare. Stabilesc modul de folosire a instalațiilor de foraj existente în întreprindere. Ei pot fi: *indici de utilizare extensivă*, care reprezintă raportul dintre timpul efectiv, T_{ef}, de funcționare a utilajelor și timpul calendaristic, T_c

$$i_{ue} = \frac{T_{ef}}{T_c}$$

și *indicii de utilizare intensivă*, care reprezintă raportul dintre metrii realizați, M_r și metrii planificați, M_p

$$i_{ui} = \frac{M_r}{M_p}$$

Indicatorii principali intensivi prin care se urmărește controlul și aprecierea activității de foraj, sînt *vitezele de foraj* care se exprimă prin raportul între metrajul realizat și timp în diferitele lui aspecte, și anume: viteza comercială v_c, viteza mecanică v_m, viteza tehnică v_t și viteza ciclică v_{ci}.

Viteza comercială $v_c = \frac{M \cdot 720}{T_p + T_n}$ [m/troliu lună],

unde: M reprezintă numărul de metri foraţi; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

Viteza mecanică $v_m = \frac{M}{T_f}$ [m/h],

unde T_f este timpul de fund (săpat, carotat).

Viteza tehnică $v_t = \frac{M \cdot 720}{T_p}$ [m/troliu lună în funcție]

Viteza ciclică $v_{ci} = \frac{M}{L_{tr}}$ [m/troliu lună în patrimoniu

unde L_{tr} este troliu lună în șantier sau trust.

În formulă simplă, viteza comercială se poate exprima în funcție de viteza mecanică, cu ajutorul relației

$$v_c = v_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 720$$

parametrii K_1, K_2, K_3 fiind:

$$K_1 = \frac{T_f}{T_0} = \frac{T_f}{T_f + T_m};$$

$$K_2 = \frac{T_0}{T_p} = \frac{T_f + T_m}{T_p};$$

$$K_3 = \frac{T_p}{T_0} = \frac{T_p}{T_p + T_n}$$

unde: T_m este timpul pentru manevrare; T_0 — timpul operativ; T_c — timpul comercial; T_p — timpul productiv; T_n — timpul neproductiv.

Timpul productiv T_p se compune din

$$T_p = T_f + T_m + T + T_t + T_a,$$

iar timpul neptroductiv T_n se compune din:

$$T_n = T_r + T_{rec} + T_s + T_i,$$

unde: T este timpul pentru lărgiri; T_t — timpul pentur tubaj; T_a — timpul pentru operații auxiliare; T_r — timpul pentru reparații și ungeri; T_i — timpul pentru instrumentații; T_{rec} — timpul pentru resăpări, recarotări; T_s — timpul pentru suspendări și opriri.

Din relațiile de mai sus rezultă că viteza mecanică este indicatorul de bază care influențează celelalte viteze de foraj.

Indicii procesului tehnologic. Aceștia exprimă gradul de dezvoltare tehnică într-o anumită perioadă și se referă la:

- metrii foraţi cu diferite feluri de energie (electrică, termică, pneumatică)
- metrii foraţi cu diferite scule tăietoare (sape, carotiere);
- metrii foraţi cu diferite metode (percutant, rotativ).

Indicii de consum. Se referă la cantitatea de materiale, energie etc., consumate pe unitatea de timp, pe unitatea de producție sau pe operația executată. Aceștia se mai pot exprima uneori prin producția realizată pe unitatea de material.

Recuperajul de carote. Prin recuperaj se înțelege raportul între metrii de carote recuperați M_r și metrii carotați M_c, și se exprimă în procente:

$$r = \frac{M_r}{M_c} \ [\%]$$

Procentul de recuperare variază după felul substanței minerale cercetate.

Pentru zonele noi se prevede un recuperaj de peste 80% pe întreaga adîncime a găurii de sondă. În zonele cunoscute se prevede un recuperaj cuprins între 70 și 80%, în formațiunile sterile și între 80 și 100% în zona mineralizată.

Productivitatea muncii. Este un indice de calitate și un factor important în componența costurilor. Productivitatea muncii, W, se exprimă prin raportul dintre metrii foraţi M și numărul de muncitori lună, N:

$$W = \frac{M}{N}.$$

sau

$$W = \frac{G \cdot v_c}{N} = \frac{v_c}{n},$$

unde: G este numărul de trolii, iar n — numărul de muncitori pe instalație.

De aici rezultă că pentru creșterea productivității muncii este necesară creșterea vitezei comerciale.

Costurile de producție. În forajul de explorare se utilizează următoarea structură a costurilor de producție:

A — *cheltuieli directe*, compuse din:
- materiale;
- manoperă;
- utilaj (amortismente, reparații, combustibil, energie etc.);
- transport și manipulare (utilaje și materiale
- operații speciale (geofizice);

B — *cheltuieli indirecte*, formate din
cheltuieli generale (ale secției și întreprinderii),
sarcini sociale.

$A + B$ = total cheltuieli de foraj.

Costurile, p, pentru metrul forat sînt date de relația

$$p = \frac{C}{M}$$

în care: C reprezintă cheltuieli totale înregistrate, lei
M — metrajul realizat, m.

Pentru reducerea continuă a costurilor trebuie crescută productivitatea muncii pe seama creșterii vitezei de foraj, reduse consumurile specifice și cheltuielile generale ale secției și întreprinderii. Toate acestea se pot obține printr-o alegere și utilizare rațională a parcului de instalații de foraj.

3.11. DOCUMENTAREA GEOLOGICĂ A FORAJELOR DE EXPLORARE

La fel ca și în cazul lucrărilor miniere, documentarea forajelor de explorare reprezintă o operație foarte importantă, deoarece este scopul final pentru care se execută acest tip de lucrări.

Documentarea, și în această situație, cuprinde operațiile principale: ridicarea topografică, întocmirea coloanei lito-stratigrafice și probarea substanței minerale utile.

Ridicarea topografică constă în stabilirea coordonatelor găurilor (găurii de sondă) în funcție de punctele geodezice din zonă și trecerea poziției pe hărți și planuri topografice.

Întocmirea coloanei lito-stratigrafice se face pe carnetul de teren sau chiar pe formulare tipărite (fig. XI.128). În acest scop se fac observații atente asupra carotei extrase, detritusului și chiar a fluidului de foraj.

ECHIPA

Profilul geologic

SCARA

Foraj cu carotaj continuu. Unghiul înclinării .....

Coordonatele reale ale sondei x ..... y ..... z .....

Foraj începută la ... . terminat la ....

Documentația începută la .. ... terminată la ... .

Nivelul hidrostatic în sondă .....

Ø sondei [mm]				
Adîncimea cu Ø dat				
Ø coloanei de tubaj [mm]				
Adîncimea coloanei cu Ø dat				

Numărul formațiunilor	Recuperaj grafic	Adîncimea m	Profil geologic	Adîncimea de extracție m	Carota extrasă		Extracția de carotă pe formația dată		Cota abs. a contactelor dintre ace	Descrierea rocilor	Grosimea vizibilă a strat. după carotă
					m	%	m	%			

Fig. XI.128. Formularul tip AG 40, Profilul geologic al

GEOLOGICĂ

Desen nr. .....
Raport anual.....

al sondei nr.

I :

Adîncimea conform jurnalului de foraj ..... .
Adîncimea conform măsurătorilor de control . ..
Măsurători de deviere a sondei .....

	NUMELE	SEMNĂTURA	DATA
Șeful echipei			
Întocmit			
Desenat			
Verificat			

Unghiul dintre axul sondei și planul de stratificație	Grosimea reală a stratelor [m]	Numărul eșantioanelor	Luarea probelor			Rezultatele analizelor						Obs.
			Numărul probei	Intervalul de luare a probelor								
				de la	pînă la	Au [g/t]	Ag [g/t]	Pb [%]	Zn [%]	Cu [%]	[°]	

sondei, pentru întocmirea coloanei lito-stratigrafice.

Observațiile cu caracter geologic trebuie să cuprindă o serie de date cu privire la:
— mineralogie;
— petrografie;
— elemente structurale;
— hidrogeologie;
substanțe minerale utile etc.;
locul (intervalul) de prelevare a probelor etc.

Toate detaliile care nu pot fi menționate în cadrul coloanei lito-stratigrafice se trec în carnetul de teren.

Avînd în vedere cantitatea redusă de material adusă la suprafață, trebuie acordată o foarte mare atenție culegerii datelor geologice, deoarece repetarea documentării este posibilă numai în cazul executării unui nou foraj.

La întocmirea documentației finale se ține seama de rubricile coloanelor tip (fig. XI.128) încercîndu-se să se treacă datele cele mai precise.

Probarea substanței minerale utile în carote și detritus precum și măsurătorile geofizice în gaura de sondă sînt operații foarte importante care se execută în cadrul explorării. Metodologia acestora este prezentată în secțiunile XII. Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile, respectiv XIII. Carotajul geofizic.

4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DUPĂ NATURA SUBSTANȚEI MINERALE UTILE

După natura substanțelor minerale utile, explorarea poate fi împărțită în:
— explorarea zăcămintelor de minereuri (fier, mangan, zăcăminte de metale rare etc.);
— explorarea zăcămintelor de cărbune;
— explorarea zăcămintelor de minerale nemetalifere și de roci utile;
explorarea zăcămintelor detritice.

4.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE MINEREURI

În explorarea zăcămintelor de minereuri se iau în considerare trei criterii: mărimea zăcămintului, morfologia zăcămintului și uniformitatea distribuției mineralizației.

De mărimea zăcămintului depinde amplasarea lucrărilor de explorare, complexitatea cercetărilor și raționalizarea lucrărilor pe bază de studii și încercări. În funcție de morfologia zăcămîntului și concentrarea mineralizației se stabilește cuantumul de lucrări de explorare și unitatea de rezerve, coeficientul de mineralizare și rețeaua lucrărilor de explorare. De uniformitatea distribuției componentului util și grosimii depinde desimea lucrărilor în vederea realizării unui anumit grad de cunoaștere.

În afara acestor criterii în practica explorării trebuie să se țină seama de faptul că minereurile, în general, mai conțin, pe lîngă metalele principale, și anumite componente secundare, metale rare și disperse în cantități exploatabile.

Valorificarea complexă, respectiv evidențierea întregului potențial al zăcămîntului este o condiție de bază a explorării zăcămintelor de minereuri.

4.1.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FIER ȘI DE MANGAN

Explorarea și valorificarea minereurilor de fier și de mangan depind de forma sub care acestea apar în natură (oxizi, carbonați sau silicați), de mărimea conținutului, de tehnologia de extragere și de prezența elementelor dăunătoare. Minereurile ce apar sub formă de oxizi de fier (magnetit, hematit, oligist, goetit etc.), respectiv oxizi de mangan (piroluzit, manganomelan, manganit, vad) se valorifică mai ușor decît carbonații și silicații acestora.

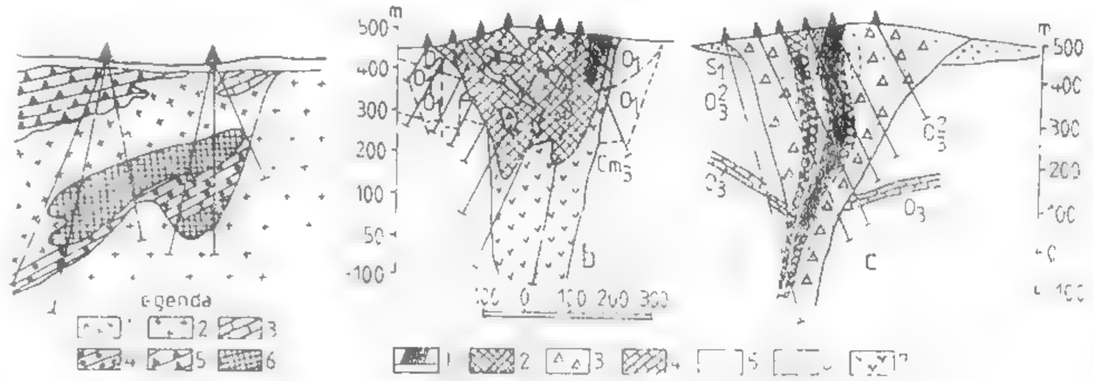


Fig. XI.129. Explorarea prin foraje a unor zăcăminte de minereu de fier:
a — zăcămînt cu formă neregulată (1 — granitoid, 2 — granit; 3 — calcar; 4 — calcar grezos, 5 — dolomit; 6 — minereu), b — zăcămînt sub forma de stock werk, c — zăcămînt de forma tabulară (1 — minereu bogat, 2 — minereu obișnuit; 3 — skarn; 4 — orizont dolomitic; 5 — roci sedimentare; 6 — argile; 7 — dacite

Valoarea minereurilor scade foarte mult cînd minereul conține elemente dăunătoare, ca As, S, P, Sb, Cu, Zn, Ba etc., în cantități mari.

Explorarea zăcămintelor de fier. Zăcămintele de fier se prezintă în natură sub forme și mineralizații foarte diferite. Ele apar fie sub formă de corpuri lenticulare în calcare, în roci metamorfice, în skarne, fie sub formă stratiformă în anumite etaje geologice, fie sub formă filoniană sau în aluviuni.

Din punctul de vedere al explorării, zăcămintele de fier se pot grupa în două: *zăcăminte mari*, cu forme și structuri mai puțin complicate, cum sînt zăcămintele lenticulare și cele stratiforme cu conținuturi de fier cuprinse între 45 și 68% și SiO_2 între 7 și 20% și *zăcăminte mici* și *mijlocii*, cu forme și structuri mai complicate, cu variații mari de conținut și în parageneză cu alte minerale, sulfuri etc., cum sînt zăcămintele de substituție metasomatica, hidrotermale, de skarne sau segregație. La acestea apar, de regulă, zone bogate în fier, zone de amestec și zone de alte minerale utile exploatabile.

Zăcămintele din prima grupă se explorează prin foraje (fig. XI.129), putîndu-se determina rezerve cu precizii de peste 90% cînd corpurile de minereu sînt foarte extinse și nu sînt afectate de mișcări tectonice, iar în zonele tectonizate nu pot fi determinate cu precizii mai mari de 80%. Explorarea de detaliu se execută cu lucrări miniere și foraje subterane pentru părțile inferioare situate la adîncime mare de suprafață. În general,

zăcămintele stratiforme de tip oolitic, de carbonați și hidroxizi de fier, care nu prezintă variații de conținut, se explorează prin foraje, cu o precizie de peste 90%.

Pentru zăcămintele din grupa a doua este necesară explorarea amănunțită, în care ponderea cea mai mare o au lucrările miniere de explorare.

Explorarea zăcămintelor de mangan se face în etapa preliminară prin foraje, iar în etapa de detaliu prin lucrări miniere însoțite de foraje subterane de mică adîncime (fig. XI.130). Zăcămintele care apar la suprafață și care urmează să fie exploatate în

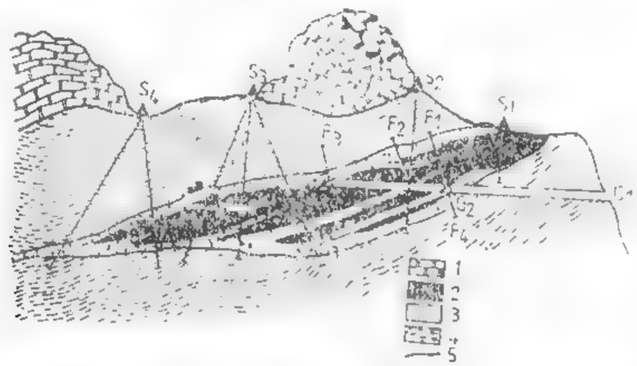


Fig. XI.130. Explorarea unui zăcământ de mangan prin foraje și lucrări miniere:

1 — calcare jurasice; *2* — minereu de mangan; *3* — cuarțite negre; *4* — micașisturi; *S1*...*S4* — foraje de explorare executate de la suprafață; *G1* — galerie transversală de explorare; *G2*...*G4* — galerii direcționale de explorare; *G2*—*G3* — plan înclinat; *F1*...*F4* — foraje de explorare executate din subteran.

carieră se explorează printr-o rețea de foraje de mică adîncime și cu gabarite mici, 20—50 m.

La explorarea zăcămintelor de mangan trebuie să se țină seama de o serie de particularități ale acestor zăcăminte, atît în ceea ce privește rețeaua de explorare, tipul de lucrări cît și metoda de calcul a rezervelor. În toate minereurile, manganul, este însoțit de fier în diferite proporții.

În general minereurile exploatabile de mangan ca și cele de fier apar sub formă de oxizi (pirolusit, manganit, vad etc.) carbonați (rodocrozit etc.) și mai rar silicați (rodonit etc.).

Principalele zăcăminte de minereu de mangan se găsesc sub formă de strate în roci sedimentare și vulcanogene sau de lentile în roci metamorfice.

4.1.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PLUMB ȘI ZINC

Minereul celor două metale se mai numește și *minereu complex* deoarece, de regulă, minereul de Pb are și un conținut de Zn și invers.

Minereurile obișnuite pentru extragerea plumbului și zincului îl constituie sulfurile de tipul galenă, blendă și uneori cu un exces de pirită, avînd ca minerale secundare: calcopirită, sulfosăruri, stibină, minerale de argint etc.

Zăcămintele de Pb și Zn apar sub formă filoniană, de strate sau de lentile.

Zăcămintele *stratiforme extinse* sau *de impregnații* în lentile se explorează pînă la adîncimi de 100—300 m prin foraje, iar pentru zone mai adînci explorarea preliminară se face prin foraje și lucrări miniere. Explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și foraje subterane scurte executate din acestea.

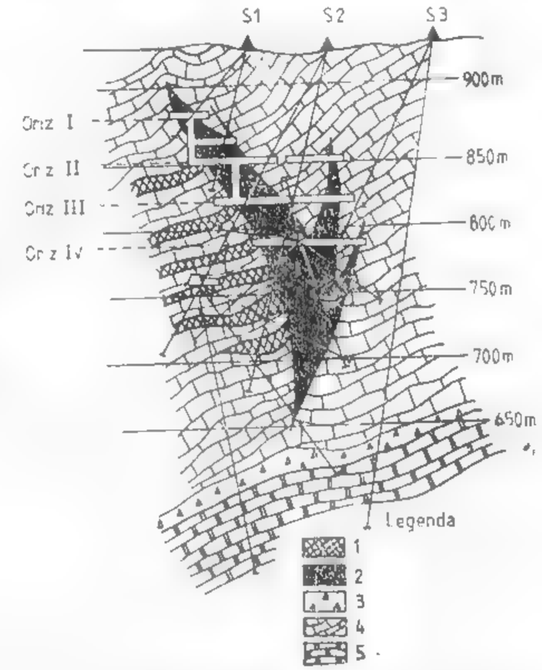


Fig. XI.131. Explorarea unui zăcământ de plumb și zinc prin lucrări miniere și prin foraje scurte și medii:

1 — minereu de zinc; *2* — minereu de plumb; *3* — breccie tectonică; *4* — calcare jurasice; *5* — calcare devoniene; *S1*...*S3* — foraje de explorare executate de la suprafață.

Zăcămintele *filoniene* de Pb și Zn se cercetează, de asemenea, prin foraje în faza preliminară de explorare, atunci cînd se găsesc sub nivelul de bază al regiunii, iar explorarea de detaliu se face prin lucrări miniere și, de la caz la caz, se completează cu foraje scurte.

Cînd zăcămintele apar sub formă de *corpuri lenticulare* (fig. XI.131), *stokuri* cuprinse în calcare sau șisturi cristaline sau sub formă de brecii cimentate, ori *impregnații* în zonele de skarn, se recomandă explorarea prin lucrări miniere în faza preliminară și lucrări minere completate cu foraje scurte în faza de detaliu.

În general, zăcămintele de Pb și Zn, din cauza formei lor mai complicate și a variației conținuturilor metalice, necesită un volum mare de lucrări de explorare, ceea ce mărește costul explorării pe tona de minereu prin comparație cu explorarea zăcămintelor de fier și de mangan.

La determinarea rezervelor, în afară de metalele principale trebuie determinate și conținuturile de metale secundare, metale nobile și metale rare, pentru o evaluare corectă a potențialului zăcămîntului.

4.1.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CUPRU

Zăcămintele cuprifere apar sub diferite forme în natură, principalele minereuri fiind constituite din sulfuri în care predomină calcopirita.

Se consideră exploatabile minereurile de cupru pînă la conținuturi sub 1%, în care se include și cuprul echivalent pentru alte metale extractibile (S, Au, Ag, Pb, Zn, As, Sb, Mo etc.). În mod excepțional, zăcămintele foarte mari se consideră exploatabile la conținuturi pînă la 0,2% Cu.

Din punctul de vedere al formei se disting zăcăminte cuprifere stratiforme care apar în strate grezoase sau conglomeratice, precum și în șisturi bituminoase, zăcăminte de

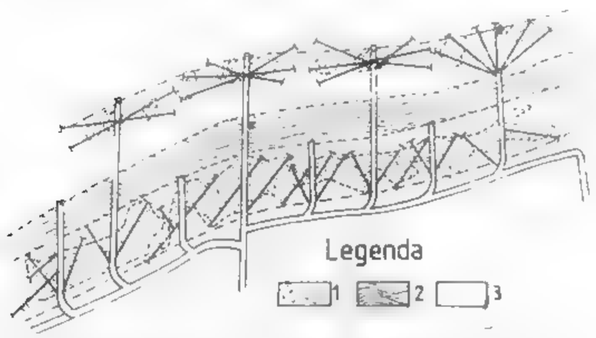


Fig. XI.132. Explorarea unui zăcămînt de cupru prin lucrări miniere și foraje scurte orizontale:
1 — minereu cuprifer; 2 — șisturi cloritoase; 3 — șisturi cuarțoase.

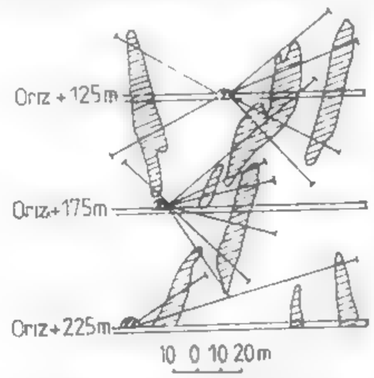


Fig. XI.133. Explorarea unui zăcămînt de cupru prin lucrări miniere și foraje în evantai la orizonturi diferite.

formă filoniană sub care apar de regulă mineralizațiile hidrotermale, zăcăminte sub formă de stockuri formate din rețele de fisuri localizate în roci carbonatice sau în roci magmatice metamorfozate și zăcăminte lenticulare legate de roci bazice și ultrabazice sau situate în roci metamorfice. Cu excepția zăcămintelor stratiforme intrastratificate, cu formă puțin variabilă, care se pot explora prin foraje, celelalte tipuri de zăcăminte cuprifere se explorează în toate fazele prin lucrări miniere, însoțite în anumite cazuri de foraje scurte subterane, orizontale sau înclinate sub formă de evantai (fig. XI.132 și XI. 133). Zăcămintele porfirice de cupru se explorează numai prin forje sau combinat (foraje și lucrări miniere).

Costul explorării este ridicat, datorită volumului mare de lucrări miniere necesare explorării în detaliu a acestor tipuri de zăcăminte.

4.1.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AUR ȘI ARGINT

În zăcămintele aurifere, aurul este asociat cu argintul în proporții caracteristice. Aurul apare în majoritatea cazurilor zăcămintelor exploatabile sub formă metalică, necombinat, și numai în cantități foarte mici combinat sub formă de telururi.

Caracteristic zăcămintelor aurifere este variația mare a conținutului de aur. În cuprinsul zăcămîntului apar concentrații formînd puncte de îmbogățire, în special în zonele în care apar complicații de formă (intersecții de filoane, schimbări de înclinare, distorsiuni, boltiri etc.). Cînd apare împreună cu alte sulfuri, zonele de concentrații în aur se găsesc la periferia acestora. În numeroase cazuri mineralizațiile aurifere apar în zona superioară a mineralizațiilor de Pb și Zn, în zona periferică a minereului cuprifer sau în zonele de trecere la alte mineralizații.

Argintul apare în zăcămintele aurifere combinat în sulfosăruri sau legat de galenă.

Zăcămintele primare de aur și argint apar în roci magmatice, sub formă de filoane, stokuri etc., fie în rocile în recinate transformate în colectori, fie sub formă de corpuri riolitice brecifiate, fisurate și cimentate cu cuarț aurifer. Unele din aceste corpuri au aspect tufogen, iar altele au caracter tufitic ori ignibritic sau chiar de riolite [illegible] metale.

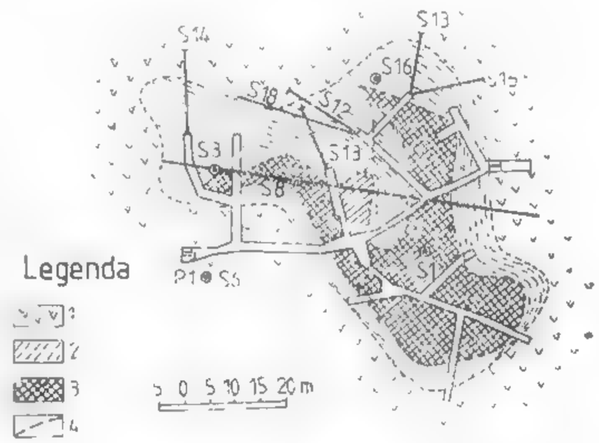


Fig. XI.134. Explorarea unui zăcămînt aurifer prin lucrări miniere și foraje:
1 — pirite; 2 — șisturi sericitoase; 3 — baritină; 4 — conturul minereului aurifer; S1, S3, S5, S8 — foraje verticale executate de la suprafață; S13 — S15, foraje executate din subteran.

Mineralizații aurifere mai pot apărea în cuarțite, gnaise cuarțitice sau în gresii și conglomerate metamorfozate hidrotermal.

În cele mai multe cazuri aurul și argintul apar sub formă de filoane de grosimi variabile, cu structură complexă, sau sub formă de rețele de filonașe grupate destul de compact în lentile mari.

Explorarea, ținînd seama de variația mare de conținut și de posibilitatea concentrării mineralizațiilor în zone sau puncte bogate în aur, se face prin lucrări miniere completate uneori, în funcție de forma corpului de substanță minerală utilă, de foraje (fig. XI.134).

Se recomandă să nu se treacă la explorarea de detaliu pînă nu se cunosc în suficientă măsură condițiile de explotabilitate și pînă nu se verifică prin faza preliminară ipotezele asupra potențialului zăcămîntului. Pentru zăcăminte mici și foarte mici bogate în aur liber, este indicat să se facă explorarea concomitent cu exploatarea.

În general, în exploatare trebuie să se țină seama de distribuția capricioasă a aurului și de faptul că o explorare de detaliu necesită volume foarte mari de lucrări și cheltuieli insuficient justificate.

4.1.5. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE PIRITĂ ȘI DE ALUMINIU

Minereul de pirită se prezintă fie compact, atunci cînd cristalele de pirită sînt concrescute între ele, fie sub formă de impregnație, cînd cristalele sînt împrăștiate în roca colectoare.

Zăcămintele de pirită apar sub formă de strate în depozite sedimentare, sub formă de corpuri lenticulare mari interstratificate în roci metamorfice, sau situate în

roci vulcanice etc., sub formă de corpuri de impregnație în alte roci, de origine hidrotermală sau de substituție metasomatică sau sub formă compactă în sisteme de filoane.

Majoritatea zăcămintelor de pirită au forme complicate și de aceea pentru explorare sînt necesare rețele dese de puncte de interceptare. Explorarea preliminară se face prin lucrări minere.

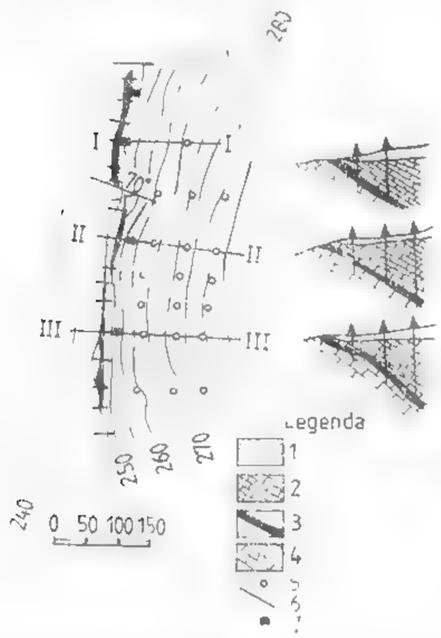


Fig. XI.135. Explorarea unui zăcămînt de bauxită prin foraje de la suprafață:

1 — sol, *2* — calcare sarmațiene; *3* — bauxită; *4* — calcare cretacice; *5* — locațiile forajelor; *6* — șanțuri; *7* — puțuri de mînă.

Bauxita reprezintă minereul caracteristic pentru extragerea aluminiului. Ea este constituită dintr-un amestec de oxizi hidratați de aluminiu — diaspor, bohemit, hidragilit — cu oxizi de fier, oxizi de titan, clorite, argile etc.

Zăcămintele de bauxită apar fie sub formă de corpuri cu contururi complexe rezultînd din umplerea unor carsturi în calcare, fie sub formă lenticulară, dispuse interstratificat în sedimente subacvatice (fig. XI.135).

Mărimea corpurilor este diferită — de la cuiburi mici de ordinul sutelor de tone pînă la depozite de milioane de tone.

Explorarea se face prin foraje și lucrări miniere. Forajele se folosesc în cazurile în care depozitele acoperitoare au grosimi mari, cercetarea efectuîndu-se pe aliniamente așezate la distanțe corespunzătoare condițiilor locale de zăcămînt.

4.1.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE METALE RARE

În categoria metalelor rare sînt cuprinse metale mai puțin comune. Ele pot fi împărțite în trei grupe: 1) metale necesare industriei curente (mercur, stibiu și arsen; crom; nichel și cobalt, staniu și wolfram; molibden și bismut; vanadiu, titan); 2) metale cu utilizări speciale (beriliu, litiu, tantal, niobiu, zircon, hafniu, cadmiu, germaniu, indiu, galiu, taliu, seleniu, telur și T.R); 3) metale radioactive (uraniu și thoriu) și metale din grupa platinei (platin, osmiu, iridiu și paladiu).

4.1.6.1. Explorarea zăcămintelor de metale necesare industriei curente

Explorarea zăcămintelor de mercur, stibiu și de arsen. Zăcămintele acestor metale prezintă aceleași caracteristici și de aceea și metodele de explorare sînt identice.

Minereurile obișnuite pentru *mercur* sînt cele cu cinabru, considerate exploatabile la un conținut mediu ce poate coborî sub 0,1%; pentru stibiu minereurile cu stibină cu conținut mediu minim de circa 2% Sb, iar pentru arsen, minereul cu sulfuri (realgar, auripigment, mispichel) cu un conținut mediu minim de circa 4% As.

Zăcămintele de mercur sînt rare și apar de regulă sub formă de impregnații de cinabru în roci poroase sau foarte fisurate. Zona mineralizată prezintă unele puncte sau sectoare cu îmbogățiri, localizate în special în planele de încălecare, în bolta anticlinalelor și în porțiunile foarte fisurate. Uneori cinabrul apare în lentile de limonit și hematit, iar în alte zăcăminte el este însoțit de minerale de stibiu și arsen (stibină, realgar, tetraedrit etc.).

Rocile în care apar cantonate mineralizațiile cinabrifere sînt roci sedimentare grezoase, conglomeratice, alternînd cu șisturi cutate și fracturate. Mineralizația este de tip hidrotermal sau de substituție metasomatică. Uneori mineralizația de cinabru apare și în tufuri și brecii vulcanice dislocate și fisurate.

În explorare se ține seama în primul rînd de caracterul, structura și tectonica rocii colectoare.

Pentru aceasta explorarea se face printr-o rețea de foraje de mică adîncime combinată cu lucrări de suprafață și scurte galerii. După confirmarea datelor cerute în faza explorării preliminare pregătitoare se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări subterane combinate, de la caz la caz, cu foraje de mică adîncime.

În ceea ce privește *stibiul* și *arsenul*, acestea formează zăcăminte mici și de importanță economică redusă care nu pun probleme din punctul de vedere al explorării. Dat fiind faptul că atît stibiul cît și arsenul apar în cantități mari asociate cu minereurile complexe, odată cu explorarea zăcămintelor de minereuri complexe se urmăresc și mineralizațiile de stibiu și arsen, cunoscut fiind că acestea apar predominant în zonele periferice mineralizațiilor complexe.

Explorarea zăcămintelor de nichel și de cobalt. Minereurile nichelifere și cobaltifere apar în natură sub formă de strate, de corpuri lenticulare de impregnație și filoane. Mai apar în minereurile complexe sau cuprifere ca metale secundare în parageneză cu Bi, Ag și U în zăcăminte primare reprezentate prin arseniuri și sulfo arseniuri sau sulfuri. De asemenea, apar ca produse reziduale pe roci ultrabzice și dolomitice prin bazine de concentrare.

Cînd se prezintă sub formă de strate, între acestea apar zone lateritice cobalto-nichelifere, asociate cu mineralizații cuprifere. Sub formă de rețele complexe de vinișoare de minereu cu caracter hidrotermal, apare nichelul și cobaltul în strate colectoare bituminoase cu caracter organogen.

Sub formă de corpuri lenticulare, mineralizația cu nichel și cobalt apare în norite, gabrouri, peridotite etc., la contactul serpentinelor sau în rocile înconjurătoare. Cînd apar sub formă filoniană sînt cuprinse în șisturi bituminoase sau în rocile bazice și ultrabazice.

Zăcămintele stratiforme situate aproape de suprafață se explorează prin lucrări minere ușoare: șanțuri, puțuri de mînă și care uneori se completează cu foraje de mică adîncime.

Zăcămintele lenticulare și filoniene se explorează de obicei cu rețele de foraje a căror aliniamente se amplasează la distanțe mai mari în exploatarea preliminară pregătitoare, care apoi se completează, în faza următoare de explorare, cu lucrări miniere și foraje de mică adîncime executate din subteran (fig. XI.136).

Explorarea zăcămintelor de crom. Minereul de crom îl constituie cromitele cu amestec de spineli de magneziu și spineli de fier.

Cromitele apar sub formă de pungi, de lentile stratiforme sau cuiburi de diferite dimensiuni, răspîndite în roci ultrabazice. Rocile obișnuite în care se găsesc corpurile și cuiburile de cromit sînt serpentinele alterate și dezagregate. De cele mai multe ori conținutul cel mai ridicat de crom se găsește în partea centrală a corpurilor și cuiburilor și scade spre periferia acestora.

În explorarea zăcămintelor de crom trebuie să se țină seama de aceste aspecte și de faptul că adeseori mineralizația se găsește închisă în mase mari magmatice, mai mult sau mai puțin serpentinizate, sub formă de cuiburi izolate fără legătură între ele și care nu pot fi detectate prin metodele geofizice. Ca primă indicație trebuie observate compoziția și structura rocilor înconjurătoare. Pe baza acestor date se trece la explorarea prin foraje sau prin galerii de coastă. Mineralizațiile întîlnite, dat fiind caracterul lor izolat, trebuie explorate sistematic, folosind cercetarea prin traversări în cruce în locul urmăririi pe contur. Urmărirea pe verticală se face cu foraje sau lucrări miniere — suitori și coborîtori.

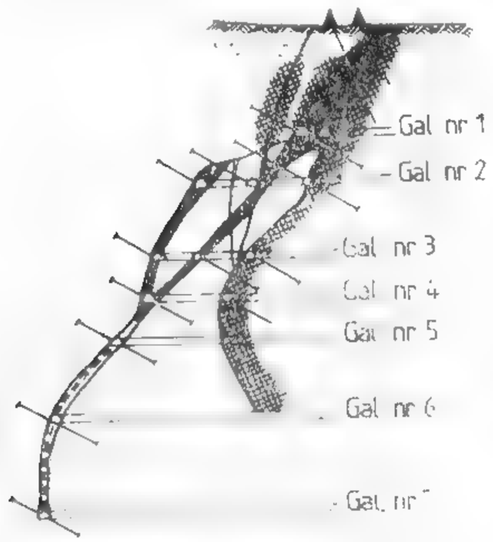


Fig. XI.136. Explorarea unui filon nichelifer prin foraje și lucrări miniere.

Explorarea zăcămintelor de staniu și de wolframe. Zăcămintele de staniu și wolfram pot fi sub formă filoniană sau aluvionare. Sub formă filoniană apar în zonele marginale sau periferice ale granitelor ca minerale casiterita și wolframitul.

Sub formă aluvionară apar în special zăcămintele bogate în casiterită. Se consideră exploatabile aluviunile la un conținut de la 0,5 kg/m³ în sus. Aluviunile cu conținut de wolfram sînt mai reduse. Unele aluviuni se explorează și se exploatează simultan pentru ambele metale. Explorarea se face cu foraje în rețele de 50 × 100 m. În prealabil se execută foraje de referință.

Explorarea de detaliu se face cu lucrări miniere.

Zăcămintele cu conținut de staniu mai mic, dar cu mai mult wolfram sub formă de scheelit, apar în skarne și în pegmatite.

Explorarea preliminară a skarnelor și a pegmatitelor cu scheelit sau cu casiterit se face de regulă prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală și de detaliu prin lucrări miniere și foraje dirijate.

Explorarea zăcămintelor de molibden și de bismut. Mineralizațiile de molibden ca și cele de bismut apar sub formă de impregnații, vinișoare, filonașe sau lentile mici de molibdenit și bismutină.

Atît molibdenul cît și bismutul mai apar în filoane de cuarț și carbonați, alături de mineralizații de plumb, zinc, cupru și pirită.

Zăcămintele de bismut apar sub aceleași forme ca și zăcămintele de molibden, fiind însoțite întotdeauna și de alte minereuri. De regulă mineralizațiile de bismut constituie zone îmbogățite de bismut, ale unor zăcăminte de skarn.

Explorarea se face prin foraje combinate cu lucrări miniere.

Explorarea în zonele de alterație ale unor zăcăminte de bismut în skarne se face prin lucrări de suprafață, iar în adîncime prin foraje.

Cînd apar sub formă de filoane, lentile etc., au contur foarte complicat și o distribuție foarte neuniformă în componenți utili și de aceea și explorarea este dificilă. În asemenea cazuri este indicată explorarea prin lucrări miniere.

Explorarea zăcămintelor de vanadiu. Minereurile caracteristice de vanadiu constituite din sulfuri apar sub formă de lentile sau filoane prinse în roci sedimentare bogate în hidrocarburi și traversate de dike-uri de roci eruptive. Acestea sînt rare.

Minereuri frecvente sînt cele de vanadați, care apar în pălăriile de fier ale unor zăcăminte de plumb și zinc sau de cupru.

Explorarea trebuie adaptată la specificul fiecărui zăcămînt.

Lucrările de explorare preliminară au ca prim scop să delimiteze în mare zonele cu grosimi și conținut interesant. Cînd mineralizațiile sînt localizate în gabrourile cu magnetit, se execută foraje în rețea preliminară, pentru verificarea anomaliilor magnetice sau a ipotezelor privind extinderea zăcămîntului. Cînd zăcămîntul este omogen și la adîncimi ce nu depășesc 300 m, explorarea preliminară se face prin foraje, iar explorarea de detaliu prin lucrări miniere de suprafață.

Explorarea zăcămintelor de titan. Minereurile obișnuite pentru extragerea titanului sînt cele de rutil și ilmenit.

Zăcămintele primare au forme tabulare cu conținut ridicat în ilmenit și puțin magnetit.

Explorarea mineralelor de alterare a dike-urilor de roci bazice și a filoanelor cu ilmenit, rutil și rutil se face în urma unor studii detaliate privind structura și răspîndirea corpurilor eruptive. Explorarea preliminară începe cu foraje de referință, după care se trece în fazele următoare explorarea prin lucrări miniere.

Zăcăminte importante de titan și ușor de exploatat sînt cele aluvionare. Aluviunile cu rutil sau ilmenit pot fi valorificate la un conținut sub 10 kg/m³, mai ales cînd din ele se valorifică și alte elemente ca: aur, magnetit, zircon etc. Explorarea aluviunilor titanifere se face prin foraje de mică adîncime, amplasate pe alinamente transversale așezate la distanțe de peste 1 000 m în explorarea preliminară, de pînă la 200 m în explorarea preliminară principală și la distanțe de 50 m în explorarea de detaliu.

4.1.6.2. Explorarea zăcămintelor de metale rare cu utilizări speciale

Aceste metale se caracterizează prin proprietăți tehnologice deosebite și utilizări speciale în tehnica temperaturilor înalte, în radiotehnică, tehnica nucleară etc. Din acest grup fac parte cadmiul, indiul, galiul, seleniul, beriliul, litiul, niobiul și tantalul, zirconiul și telurul. Unele din acestea nu au minereuri proprii, apărînd fie în amestecuri izomorfe, fie în minerale comune (blendă, galenă etc.) sau sînt minerale însoțitoare ale unor minerale metalifere.

Alte metale rare cu utilizări speciale au minereuri proprii și apar asociate în unele pegmatite, aplite, carbonatite sau în zonele periferice ale unor intruziuni de granite sau de roci alcaline.

Explorarea zăcămintelor de beriliu. Mineralul din care se extrage este oxidul de beriliu, care formează cu roca minereul propriu.

Concentrațiile de beriliu formează zone în pegmatitele bogate în cristale mari. În anumite granite, beriliul poate fi un constituent normal, cu răspîndire uniformă, și exploatabil în unele zone. El mai poate apărea în filoane sau stockuri cu caracter pneumatolitic-hidrotermal, în anumite skarne în calcare, la contactul acestora cu intruziunile granitoide.

Explorarea minereului de beriliu se face împreună cu a altor minerale sau metale rare din pegmatite. Prin lucrări se determină zonalitatea, extinderea și structura corpului de pegmatit, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară și de detaliu se face numai prin lucrări miniere la gabarit mic

șanțuri și puțuri, fig. XI.137; galerii de coastă și transversale scurte, fig. XI.138). O deosebită atenție trebuie acordată probării.

Explorarea zăcămintelor de niobiu și tantal. Niobiul are diferite utilizări în tehnica nucleară, iar tantalul ca înlocuitor al platinei. Minereurile lor conțin minerale de niobotantalați (tantalit, piroclor etc.). Se consideră valoroase minerale cu conținuturi de peste 0,02% Nb și Ta.

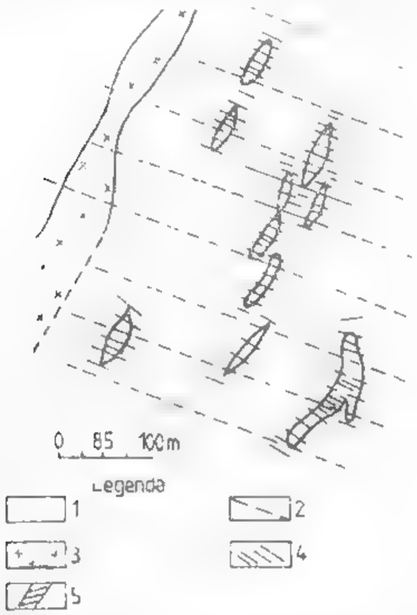


Fig. XI.137. Explorarea zăcămintelor de beriliu prin lucrări miniere.
1 — cuarțite; 2 — alinieamente de puțuri; 3 — granite; 4 — șanțuri; 5 — pegmatite cu beriliu.

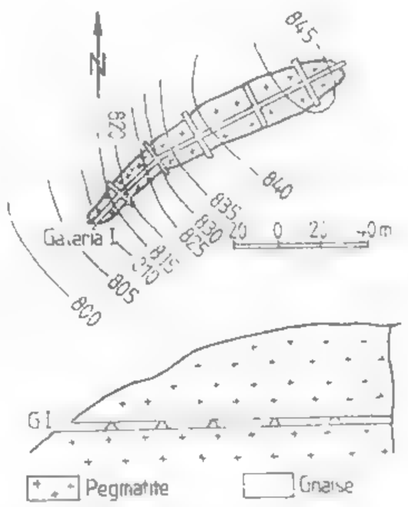


Fig. XI.138. Cercetarea pegmatitelor prin lucrări miniere subterane.

Niobotantalații apar în granitoide, de obicei în pegmatitele granitice în care se găsește și beriliul. Metodologia de explorare este aceeași ca la beriliu, apărând în zone diferite, fie că apar împreună cu beriliul.

Zăcăminte importante de niobiu și tantal apar de asemenea în alte munți din zona unor sienite.

Explorarea zăcămintelor de zirconiu și de hafniu. Aceste metale au utilizări în construcția utilajului și aparatelor de temperatură înaltă sau au folosire în industria tehnică etc.

Cele mai interesante zăcăminte primare conțin uneori peste 1% zirconiu în unele zone ale unor sienite nefelinice sau în pegmatitele lor, situate în zone granite.

Cele mai importante zăcăminte pentru extracția zirconiului și hafniului sînt zăcămintele aluvionare.

Metalul mai poate fi obținut ca produs secundar din aluviunile de monazite.

Explorarea zăcămintelor primare, respectiv a pegmatitelor, a unor zone din rocile alcaline a carbonatitelor și filoanelor exploatabile pentru zircon, se face după aceeași metodologie ca și în cazul beriliului, niobiului și tantalului.

4.1.6.3. Explorarea zăcămintelor de metale radioactive

În această grupă sînt cuprinse uraniul, thoriul și TR (lantanidele). Mineralele acestora se prospectează prin măsurări radiometrice și se urmăresc prin aceleași metode și în lucrările de explorare.

Zăcămintele de uraniu apar în condiții foarte diferite ca formă (lentile, impregnații, filoane) și mineralizare.

Explorarea zăcămintelor uranifere este în general dificilă și necesită un volum foarte mare de lucrări, dată fiind lipsa de legătură dintre diferitele corpuri mineralizate sau între filoanele ce prezintă îmbogățiri pe anumite zone.

În explorare este indicat să se urmărească controlul mineralizației, colectorii petrografici și cei structurali și mai ales extinderea lor. Explorarea preliminară și cea amănunțită se face prin lucrări de suprafață (șanțuri, puțuri) și prin lucrări subterane (galerii scurte de coastă, galerii direcționale) și prin foraje, toate controlate în mod permanent cu radiometrul.

În ceea ce privește thoriul, sursa principală este reprezentată de monazite, de piroclor și de anumiți oxizi complecși care cuprind minerale de ceriu și TR.

Mineralizațiile cu monazite apar sub formă de impregnații în anumite zone ale masivelor granitice, dar mai ales în unele corpuri magmatice alcaline denumite [illegible] TR.

Ca și celelalte metale rare cu utilizări speciale, thoriul și TR (monazite) se exploatează [illegible] din aluviuni a căror explorare se face prin foraje.

4.1.6.4. Explorarea zăcămintelor de metale din grupa platinei

Din această grupă fac parte: osmiul, iridiul, ruteniul, radiul și paladiul, care pot fi sub formă liberă sau aliate între ele, fie aliate cu fier, aur și nichel și mai rar sub formă de arseniuri, sulfuri sau stibiuri.

Sursa petrografică pentru aceste metale o constituie rocile ultrabazice, atît zonele de segregație magmatică de tipul noritelor, cît și coșurile de dunite în care apare platina fin diseminată.

Explorarea platinei și a mineralelor din grupa sa se face în aluviuni, care reprezintă principala sursă de producție pentru aceste elemente.

4.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Indiferent de domeniul de utilizare, cărbunii trebuie obținuți la costuri cît mai reduse. În acest scop cheltuielile de explorare trebuie să fie reduse prin aplicarea metodelor de explorare corespunzătoare condițiilor de zăcămînt, iar cheltuielile de exploatare, de asemenea reduse, prin aplicarea unor metode de mare productivitate

4.2.1. CLASIFICAREA ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI DIN PUNCTUL DE VEDERE AL EXPLORĂRII

Clasificarea cărbunilor sub aspectul explorării are la bază următoarele criterii mărimea, structura, constituția și calitatea.

După criteriul *mărimii*, se împart în:

zăcăminte foarte mari, cu rezerve exploatabile de peste 100 mil. tone;
- zăcăminte mari, cu rezerve exploatabile între 20 și 100 mil. tone;
— zăcăminte mijlocii, cu rezerve exploatabile între 5 și 20 mil. tone;
zăcăminte mici, cu rezerve exploatabile între 0,6 și 5 mil. tone;
— zăcăminte foarte mici, cu rezerve exploatabile sub 0,6 mil. tone.

După criteriul *structural*, se împart în:

zăcăminte slab ondulate, stratiforme cu înclinări mici, nefaliate sau foarte puțin faliate;
- zăcăminte cutate și faliate dar cu stratificația și elementele de poziție ale stratelor bine distincte;
— zăcăminte cu structură geologică complicată, intens cutate și faliate, sub formă de corpuri sau lentile, variate ca dimensiuni și poziție.

După criteriul *constituției*, se împart în:

— zăcăminte uniforme, cu grosimea și calitatea cărbunilor foarte puțin variabile;
— zăcăminte variabile, cu grosimea și calitatea variabile în limitele exploatabilității,
— zăcăminte foarte variabile, cu grosimea foarte variabilă, avînd ingroșări, lamINări și cu calitatea foarte diferită, depășind limitele de calitate.

După criteriul calității, clasificarea are la bază încadrarea cărbunilor în clasificările industriale.

Prin explorare, în cazul zăcămintelor foarte mari și mari, pe baza datelor prospecțiunii, se delimitează un perimetru de explorare ținînd seama de tema dată, de capacitatea de lucru etc., folosind ca limite limitele naturale geologice (fracturi, contacte etc.) sau limitele geografice (rîuri, căi de comunicație, localități etc.)

4.2.2. CARACTERISTICILE GENERALE ALE EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni apar, în general, sub formă de strate intercalate în formațiuni sedimentare caracteristice, bine dezvoltate, ceea ce are repercusiuni favorabile atît asupra metodelor de explorare cît și asupra volumului acestora.

Explorarea preliminară pregătitoare este mai dezvoltată în cazul cărbunilor decît pentru celelalte substanțe minerale, deoarece ea trebuie să completeze datele care în mod natural se obțin în prospecțiunea de detaliu și care se face în mai mică măsură sau nu se execută deloc în cazul cărbunilor.

Pe de altă parte, explorarea preliminară principală trebuie să furnizeze un volum suficient de date pentru ca să se poată proiecta exploatarea. De aceea, explorarea preliminară principală trebuie să aibă la bază un proiect general care să poată fi readaptat sistematic după noile date obținute pe parcurs.

În final explorarea preliminară trebuie să rezolve:

— geologia de amănunt a formațiunii carbonifere;

geologia regiunilor vecine, dinamica formării bazinului etc.;
- calitatea și grosimea stratelor de cărbuni în aflorimente, extinderea și variația grosimii stratelor de cărbuni.

Cu excepția explorării de detaliu, lucrările de explorare preliminară se fac aproape exclusiv prin foraje. Punctele de interceptare sînt așezate pe aliniamente ce formează rețele regulate pătrate sau triunghiulare și care sînt orientate perpendicular pe direcția accidentelor structurale, cute și falii.

Numai în cazul cînd explorarea preliminară prin foraje nu poate clarifica în suficientă măsură structura din cauza tectonizării pronunțate, a adîncimii mari etc., se recurge parțial la lucrări miniere însoțite de foraje subterane.

Pentru a avea o dozare rațională a lucrărilor de explorare se recomandă să se traseze pe harta bazinului o rețea regulată de locații de foraje la distanțele maxime, denumită *rețeaua fundamentală* și față de acestea să se amplaseze, în funcție de necesități, noi locații. Se vor evita rețelele de desime mare pentru adîncimi mai mari de 500 m.

Explorarea de detaliu a cărbunilor este indicată numai în măsura realizării gradului de asigurare a extracției.

4.2.3. FAZELE ȘI SPECIFICUL EXPLORĂRII ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

În ceea ce privește fazele de explorare ele sînt aceleași, dar diferă comparativ cu alte substanțe, prin felul lucrărilor de explorare și ponderea lor în procesul de cercetare a cărbunilor.

Explorarea preliminară. În majoritatea cazurilor explorarea zăcămintelor de cărbuni începe pe baza unor date sumare asupra regiunii și asupra zăcămîntului; de aceea, prin metodologia și etapele de lucru trebuie să se asigure obținerea tuturor datelor necesare întocmirii proiectului de explorare preliminară principală și în cele din urmă o evaluare cît mai precisă a rezervelor zăcămîntului.

— *Explorarea preliminară pregătitoare.* În această subfază este necesar să se completeze datele prospecțiunii, în ceea ce privește precizarea așezării, formei, extinderii și parametrilor calitativi ai zăcămîntului, cu ajutorul unor lucrări ușoare.

Dacă nu s-au efectuat cercetări suficiente este necesar să se întocmească harta topografică de detaliu la scara 1:10 000 sau cel puțin 1:25 000, harta geologică de detaliu la scara 1:10 000 și secțiuni caracteristice prin bazinul carbonifer și formațiunile din fundament. Lucrările de completare a cartării și prospecțiunii, spre deosebire de prospecțiune, au în subfaza explorării preliminare un caracter specific explorării în sensul că ele trebuie să verifice ipoteza extinderii zăcămîntului.

Pentru zăcămintele cu structură complicată, la care forajele nu pot furnizza date suficiente, cum sînt zăcămintele de cărbuni superiori care sînt frămîntate și intercalate în structuri complexe, ele se înlocuiesc în parte cu lucrări miniere sau lucrări combinate.

— *Explorarea preliminară principală.* Această subfază se caracterizează printr-un volum mare de lucrări grele. Date fiind atît tehnica specială de execuție a acestor lucrări cît și costul lor ridicat, este necesar ca metodica lucrărilor să fie stabilită pe baza unui studiu tehnico-economic în mai multe variante și în care să se țină seama

de posibilitatea folosirii lucrărilor în faza următoare de explorare sau în faza de exploatare.

Ținînd seama de criteriile de clasificare a zăcămintelor de cărbuni sub aspectul explorării, metodologia lucrărilor de explorare se diferențiază după următoarele cazuri:

— zăcămintele mari stratiforme, cu grosimi și înclinări puțin variabile, situate la adîncimi mai mici de 500 m, se explorează prin foraje dispuse în rețele uniforme;

— zăcămintele mari stratiforme, dar cu grosimi și înclinări variabile, situate la adîncimi pînă la 1 000 m, se vor explora prin foraje dispuse în rețele uniforme numai dacă din punct de vedere economic exploatarea este justificată la aceste adîncimi și fără să se mărească densitatea lucrărilor de explorare;

— zăcămintele mari și mijlocii, cu grosimi foarte variabile și cu structuri complicate, se explorează prin foraje în subfaza explorării preliminare pregătitoare, iar în subfaza explorării preliminare principale prin foraje și lucrări miniere;

— la zăcămintele mijlocii și mici, cu sorturi de cărbuni de valoare mare, dar formate din strate distorsionate, din lentile sau corpuri compuse în formațiuni dislocate se aplică metodologia de explorare folosită pentru minereuri.

Explorarea de detaliu. Această fază se execută numai în anumite condiții, legate de punerea în exploatare a perimetrului cercetat sau a unei părți din acesta. La aceasta ca obiectiv realizarea unui grad de asigurare a exploatării cu rezerve deschise și pregătire pentru o anumită perioadă de exploatare de 0,5—2 ani. În acest scop se execută lucrări miniere — deschiderea zăcămîntului, lucrări de pregătire și galerii suitori pentru compartimentarea în blocuri și panouri de exploatare.

4.2.4. EXEMPLE DE EXPLORARE A ZĂCĂMINTELOR DE CĂRBUNI

Zăcămintele de cărbuni, chiar și cele considerate uniforme, pot prezenta porțiuni cu structuri diferite. Din aceste motive sectorizarea sau raionarea din punctul de vedere al structurii, calității etc., a stratului se impune ca o necesitate pentru realizarea unei explorări raționale a zăcămîntului carbonifer sau a bazinului respectiv.

Raionarea mai este impusă și de considerații legate de sistematizarea exploatării, efectuarea lucrărilor de deschidere și pregătire în cadrul explorării de detaliu etc., și de determinarea rezervelor.

Rezervele se vor putea contura astfel la diverse categorii, ținînd seama și de gradul de complicație a raioanelor respective.

Criteriile de raionare sînt diferite. Pentru stratele de cărbuni cutate, raionarea poate fi făcută pe baza datelor geologice de suprafață și verificată prin foraje de referință sau o rețea foarte rară de foraje. În cazul stratelor de cărbuni deformate de mișcări tectonice se recomandă separarea zonelor mai intense deformate de cele mai puțin deformate etc.

Cazul I al unui zăcămînt de lignit situat în formațiuni slab cutate. Considerînd un zăcămînt de lignit aproape de suprafață, situat în formațiuni tinere slab cutate, pentru explorarea sa se face raionarea unor sectoare ale bazinului în explorarea preliminară pregătitoare. Lucrările din această subfază cuprind forajele executatea pe aliniamente distanțate la 5—15 km, iar distanța între lcoații este de 1—2 km. Prin aceste aliniamente se urmărește delimitarea raioanelor (perimetrelor) cu condiții diferite în ceea ce privește structura și exploatarea.

În figura XI.139 este reprezentat un astfel de perimetru de cercetare cu o suprafață de 12,5 km. În subfaza principală a explorării preliminare se execută o rețea de foraje cu locații la distanța de 1 km, prin care s-a interceptat stratul principal cu grosimi între 3,5 și 6,5 m, situat în cea mai mare parte deasupra nivelului hidrostatic. A fost completată rețeana cu locații de foraj pînă la distanța de 600 m și parțial pînă la 300 m, în scopul obținerii datelor proiectării exploatării.

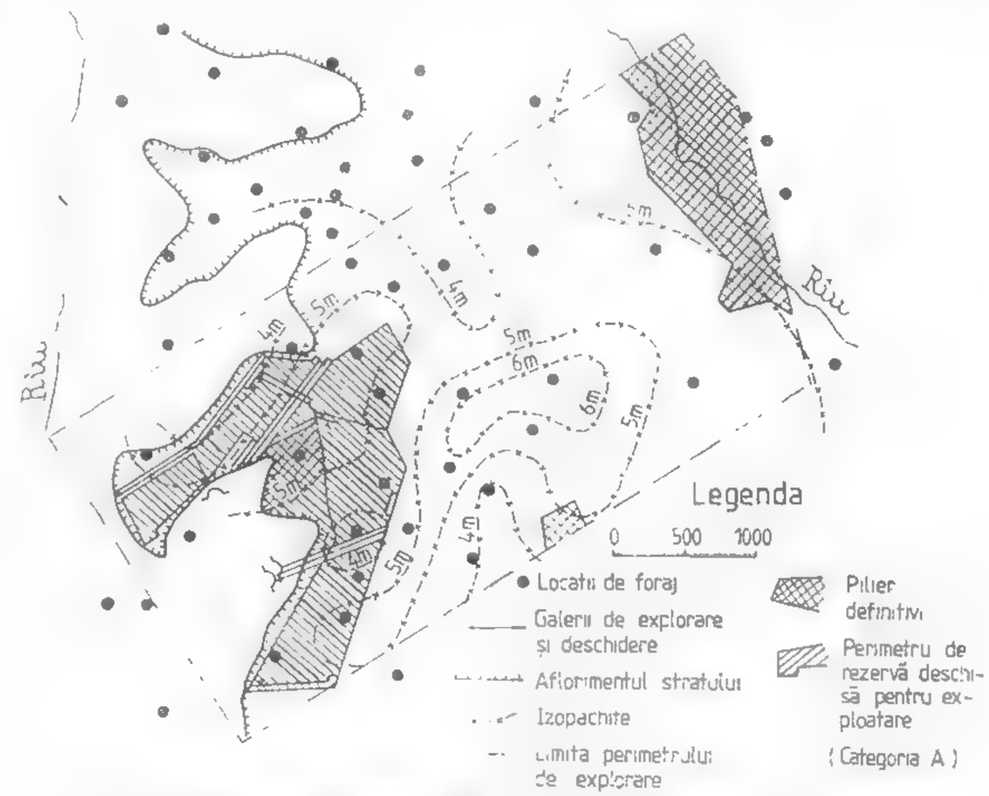


Fig. XI.139. Explorarea unui strat de lignit cuprins într-o formațiune carbonifera slab cutata (Pliocen).

Explorarea de detaliu se efectuează prin lucrări miniere cu ajutorul cărora este deschisa rezerva pentru asigurarea exploatării.

Cazul II al unui zăcămînt de huilă în formațiuni cutate și foliate. Într-o formațiune carbonifera cu grosimea de 100—300 m sînt localizate mai multe strate cu grosimi variate între 0,5 și 40 m. Bazinul carbonifer are forma unei cuvete, adîncă de peste 1 000 m, strînsă în formațiunile de fundament care se ridică pe flancuri și interceptată de numeroase falii longitudinale și transversale. În bazin există exploatări de cărbuni și foraje de referință și în consecință n-a mai fost necesară explorarea preliminară pentru perimetrul în cauză, care este situat în extinderea celor în exploatare. Dacă acest perimetru ar fi situat la [illegible] perimetrului direct în subfaza explorării preliminare principale.

Pentru delimitarea rețelei de foraj a explorării preliminare principale, s-au executat mai multe foraje situate pe un aliniament așezat în lungul bazinului și mai multe foraje izolate. Toate forajele au interceptat stratele de cărbune și au confirmat structura generală de albie cu continuitatea zăcămîntului, dar au pus în evidență existența unor structuri complicate și nu au dat posibilitatea să se coreleze secțiunile.

Pentru clarificarea structurii s-a întocmit o rețea de foraje de explorare prin foraje distribuite uniform în triunghi, la circa 300 m distanță. În felul acesta forajele exploatare preliminare principale au permis clarificarea structurii stratelor, astfel încît

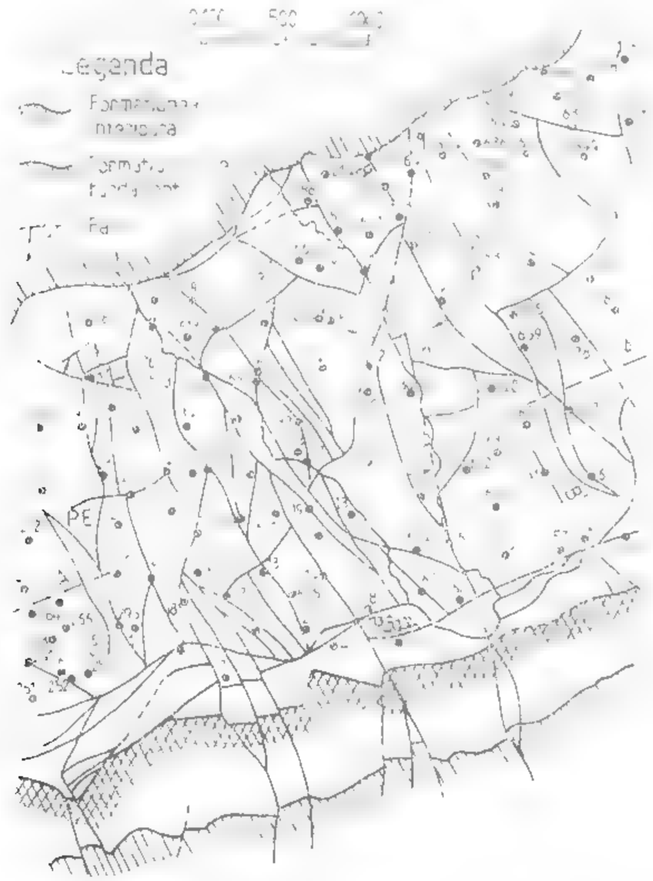


Fig. XI.140. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de huilă cutat și faliat, prin foraje dispuse în rețea.

să se poată trece pe baza lor la explorarea de detaliu și să se poată proiecta rețeaua de lucrări miniere de deschidere a zăcămîntului. În fig. XI.140 sînt indicate limitele geologice principale, faliile și locațiile forajelor care sînt numerotate, precum și două secțiuni prin zăcămînt (fig. XI.141).

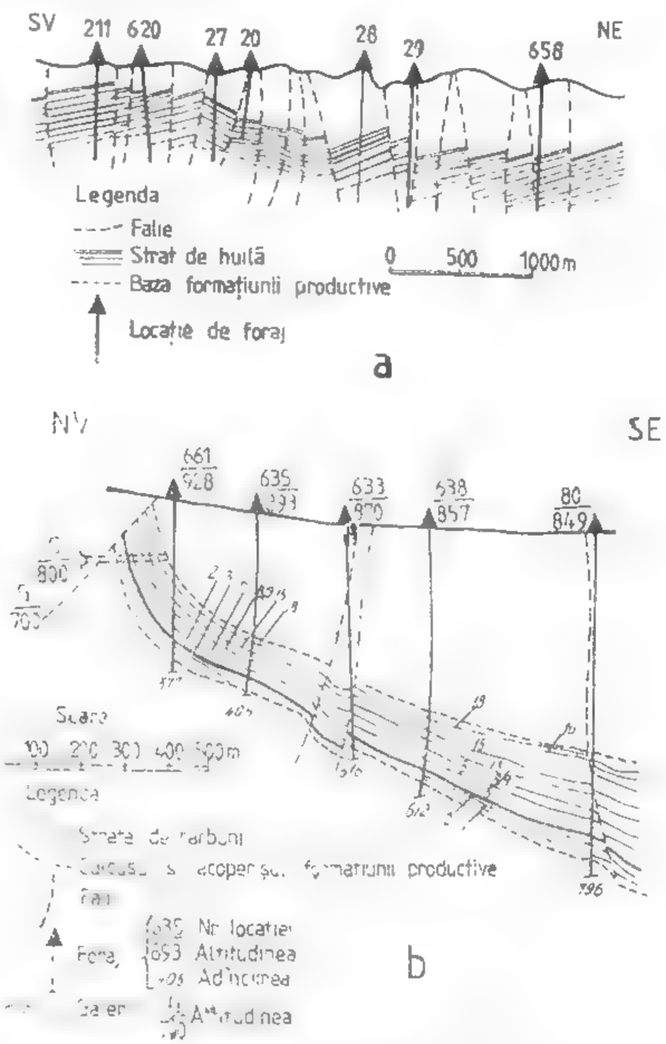


Fig. XI.141. Secțiuni geologice prin zăcămîntul de huilă din fig. XI.140:

a — secțiune longitudinală $A-A'$; b — secțiune transversală $B-B'$.

4.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE NEMETALIFERE ȘI DE ROCI UTILE

Substanțele minerale utile nemetalifere cuprind acele substanțe care pot fi valorificate în stare brută sau în urma unei prealabile prelucrări. Domeniile de utilizare a acestora sînt foarte variate: industrie, construcții, agricultură, chimie etc.

Metodologia de explorare are la bază aceleași criterii ca și în cazul zăcămintelor de minereuri, cu unele particularități legate de condițiile de zăcământ ale substanțelor nemetalifere respective.

După condițiile de zăcământ și posibilitățile de valorificare, zăcămintele de substanțe nemetalifere se clasifică în patru grupe:

— zăcăminte ce apar în corpuri geologice exploatabile pe dimensiuni mari, cum sînt masivele de roci magmatice (granite, andezite, bazalte etc.);

— zăcăminte valorificabile numai parțial, în anumite zone, care au anumite proprietăți fizico-mecanice (calcare, dolomite, nisipuri caolinoase, argile refractare etc.)

— zăcăminte stratiforme interstratificate în alte roci (săruri, gips, barită, talc, azbest, calcit etc.);

— zăcăminte sub formă de cuiburi de diferite dimensiuni, care apar sporadic în masa rocilor comune (diamant, calcedonie, feldspat, mică etc.)

Cu excepția zăcămintelor din ultima grupă, celelalte acumulări devin exploatabile în condițiile explorării la costuri scăzute.

În ceea ce privește explorarea, trebuie aplicate metode puțin costisitoare, prin care se urmărește verificarea ipotezelor asupra extinderii zăcămîntului și stabilirea potențialului acestuia.

Ținînd seama de varietatea mare în care apar substanțele nemetalifere, tratarea sub aspectul explorării este făcută pe clase de substanțe: gips și anhidrit, sare gemă, săruri de potasiu, fosforite, roci carbonatice, silicați aluminoși etc.

4.3.1. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE GIPS ȘI ANHIDRIT

Gipsul apare sub formă de strate sau lentile cu grosimi variabile, pînă la cîteva zeci de metri. Stratele mai subțiri pot alterna la anumite nivele cu strate subțiri de marne, iar cele cu grosimi mai mari conțin adesea intercalații de marne, argile etc. Sub formă de interstratificații apare adesea în zona inferioară a zăcămintelor de sare. Sub acțiunea presiunii și a căldurii gipsul pierde apa de cristalizare și se transformă în anhidrit, de aceea nu apare la adîncimi mai mari de 200 m.

Depozitele de gips ce aflorează se explorează prin șanțuri și puțuri, iar cele acoperite — prin foraje de mică adîncime.

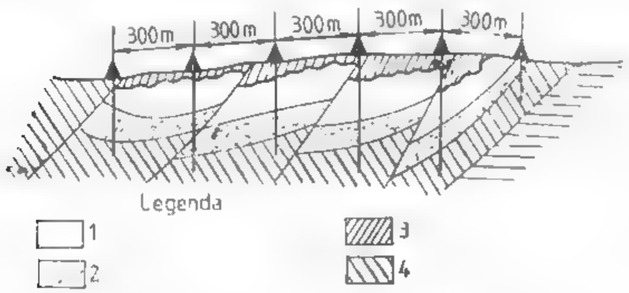


Fig. XI.142. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de gips

1 — gips alabastru; *2* — gips [illegible] argile descoperite; *4* — marne de culoare

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin foraje de referință, iar explorarea preliminară principală printr-o rețea de foraje dispuse pe alinamente așezate perpendicular pe direcția zăcămîntului și la distanțe cuprinse între 300 și 1 000 m.

Distanța între forajele aceluiași aliniament variază între 100 și 300 m (fig. XI.142).

Pentru explorarea de detaliu se utilizează rețele cu distanță între foraje de 50 m

4.3.2. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SARE GEMĂ ȘI DE SĂRURI DE POTASIU

Depozitele de sare apar sub formă de strate lentiliforme cu dimensiuni mari, corpuri cilindrice verticale diapire, apofize sau corpuri complexe insinuate de fracturi, pungi sau impregnații de sare.

Datorită condițiilor variate în care apar masivele de sare, explorarea preliminară pregătitoare trebuie să clarifice geologia zăcămîntului. Ipotezele asupra formei, extinderii și calității zăcămîntului se verifică prin foraje de referință, șanțuri, puțuri și determinări hidrogeochimice, după care se completează și se corelează datele în etapa următoare, a explorării preliminare principale, prin unele lucrări miniere subterane și foraje subterane.

O atenție deosebită trebuie acordată amplasării acestor lucrări de explorare. Se va evita amplasarea la contactul dintre sare și rocile înconjurătoare și, în general, în zonele în care pot avea loc infiltrații deape superficiale sau pot pătrunde, la masivul de sare,ape din strate acvifere. După verificarea ipotezei asupra distribuției sării și asupra formei zăcămîntului, care se face prin cîteva foraje de referință pînă la 1 000 m, se alege rețeaua de foraje la gabarite de 200 m × 200 m sau de 300 m × 300 m, din care apoi explorarea continuă pe aliniamente perpendiculare pe direcția de extindere a masivului, la distanțe de 900—1 500 m (fig. XI.143).

În cazul exploatării sării prin dizolvare, explorarea se va face în mod exclusiv prin foraje pe aliniamente așezate la distanțe de 600—1 200 m, cu distanța între punctele de pe aliniament de 300—600 m.

Explorarea de detaliu se face prin foraje prin care se exploatează în cele din urmă sarea dizolvată — saramura.

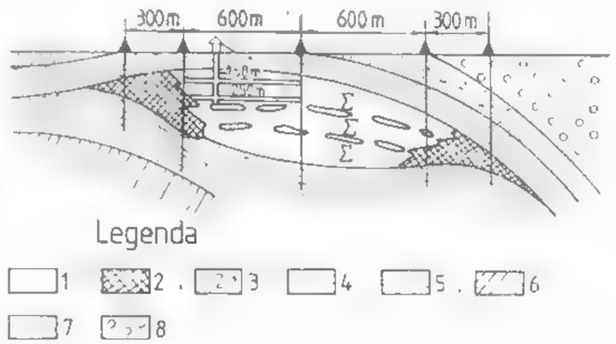


Fig. XI.143. Explorarea preliminară și de detaliu a unui zăcămînt de sare:

1 — sare; *2* — breccia sării; *3* — intercalații marnoase în sare; *4* — marne cu globigerine; *5* — marne tufitice; *6* — gresii marnoase; *7* — gresii marno-calcaroase; *8* — gresii și conglomerate

Dacă exploatarea se va face prin camere, explorarea preliminară principală se realizează prin foraje de suprafață sau foraje dirijate din lucrări subterane, iar explorarea de detaliu se face numai prin lucrări subterane, completate cu unele foraje dirijate din acestea, la gabarite de 50—100 m.

Sărurile de potasiu apar sub formă de strate alternînd cu depuneri de halit, de gips și în special de săruri de magneziu și de silvină.

Mineralul principal pentru potasiu este silvina (KCl). Se consideră exploatabile stratele cu un conținut de peste 10% K_2O.

Prin explorarea preliminară, ca și în cazul sării gemene, trebuie să se clarifice structura zăcămîntului prin corelarea datelor anterioare obținute prin prospecțiune cu cele obținute în explorarea preliminară pregătitoare. În faza următoare a explorării

preliminare principale, o atenție deosebită se acordă structurii porțiunilor din acoperișul corpurilor de sare, întrucît sărurile de potasiu fiind foarte plastice pot suferi deformări importante. Explorarea preliminară principală se face prin lucrări minere complete cu foraje subterane (fig. XI.144).

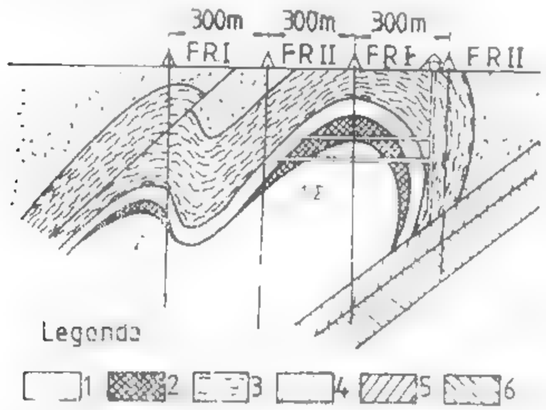


Fig. XI.144. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de săruri de potasiu:

1 — sare, 2 — săruri de potasiu, [illegible] și 4 — marne [illegible] FRI și FRII foraje de [illegible] I și II

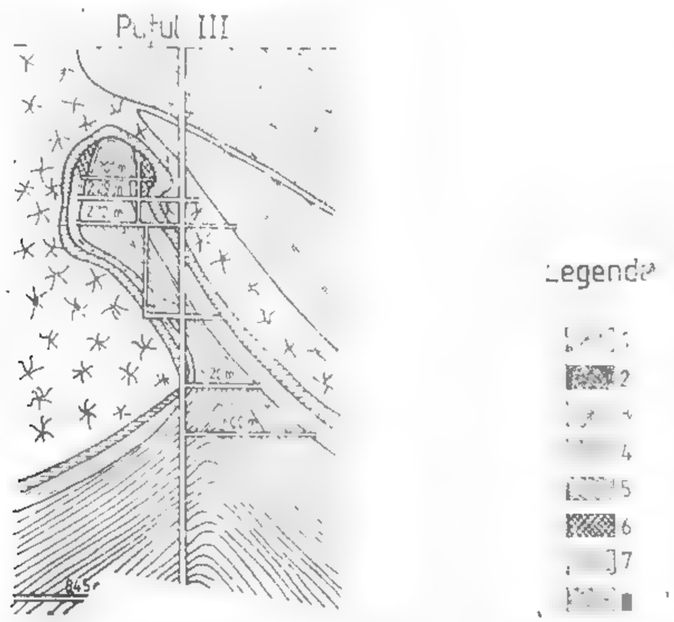


Fig. XI.145. Explorarea de detaliu a unui zăcămînt de săruri de potasiu:

1 — gips; 2 — formațiuni greziase; 3 — anhidrit, 4 — săruri impure, 5 — săruri argiloase; 6 — săruri de potasiu, 7 — săruri de magnezie, 8 — breccia sării

Explorarea de detaliu se execută pe măsura necesităților, folosind lucrări miniere prin care se urmărește și compartimentarea zăcămîntului în vederea exploatării lui (fig. XI.145).

Probarea zăcămintelor de săruri de potasiu se face prin brazde în lucrările subterane care traversează zăcămîntul sau din carotele obținute din foraje.

4.3.3. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FOSFORITE

Sub denumirea de *folosfoite* sînt cuprinse acumulările de roci bogate în fosfor. În marea lor majoritate aceste roci sînt sedimentare, mai mult sau mai puțin metamorfozate. Anumite pegmatite conțin fosfor cînd sînt bogate în apatite.

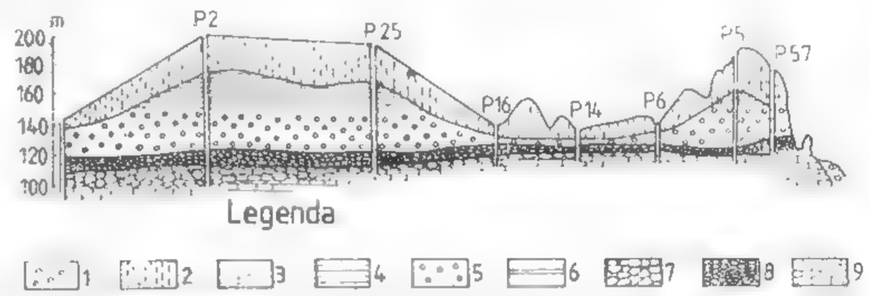


Fig. XI.146. Explorarea preliminară a unui zăcămînt de fosforit prin puțuri:

1 — aluminiu; 2 — argile; 3 — nisipuri cuarțoase; 4 — nisipuri argiloase; 5 — nisipuri; 5 — fosfați; 7 — nisipuri conglomerate; 8 — argile și silexuri; 9 — calcare cretoase

Mineralele comune cuprinse în fosforite sînt apatitele (fluorapatitul, clorapatitul, hidroxilapatitul și carbonatapatitul), cuprinzînd trifosfatul de calciu și alți compuși ai calciului. În fosforitele sedimentare, fosforul apare sub formă de collofan — un gel de feldspat de calciu.

În general, depozitele fosforitice se caracterizează prin grosimi variabile și discontinuitate în cadrul aceloraşi formațiuni sau strate.

Explorarea preliminară se face prin foraje sau puțuri, pentru conturarea blocurilor geologice sau a zonelor mineralizate (fig. XI.146). Pe baza datelor obținute se continuă explorarea preliminară principală, pentru conturarea pe direcție, prin lucrări minere, a blocurilor mineralizate. Explorarea de detaliu se face prin lucrări minere, prin care se urmărește deschiderea și compartimentarea (pregătirea) zăcămîntului pentru exploatare.

Probarea zăcămîntului se face prin brazde, la distanțe de 5—10 m, în galerile care urmăresc zăcămîntul, și în galerii transversale sau breșe în cazul grosimilor mari.

4.3.4. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE CALCITĂ, CELESTINĂ, BARITINĂ ȘI FLUORINĂ

Calcita apare în natură sub formă de filoane, lentile sau corpuri neregulate de origine hidrotermală. Are utilizări restrînse, fiind folosită în special ca material piezooptic pentru aparate de laborator.

Explorarea preliminară pregătitoare se face prin dezveliri și șanțuri în terenurile acoperitoare, iar explorarea preliminară principală prin foraje de mică adîncime (pînă a maximum 100 m adîncime), așezate la distanțe de 25 – 100 m, pentru stabilirea formei, extinderii și constituției zăcămîntului.

Explorarea de detaliu se face cu galerii sau puțuri de explorare amplasate în rocile înconjurătoare, din care apoi se continuă explorarea zăcămîntului prin foraje dirijate și galerii pînă la contactul cu corpurile de calcită.

Celestina apare sub formă de strate, însoțind uneori depozite de gipsuri. Este singura sursă industrială pentru extragerea stronțiului. Zăcămintele de celestină sînt bine dezvoltate cînd deasupra gipsului se găsesc calcare organogene. În explorarea preliminară pregătitoare se execută foraje de referință pentru cercetarea contactelor zăcămintelor de gips sau a unor acumulări de gips, după care se continuă explorarea preliminară principală prin lucrări miniere amplasate la distanță de 200 m.

Explorarea de detaliu se execută numai prin lucrări miniere prin care se urmărește și deschiderea și pregătirea zăcămîntului.

Baritina apare sub formă de filoane și corpuri lenticulare de origine hidrotermală, în calcare și roci eruptive.

Explorarea zăcămintelor de baritină se face după aceeași metodică aplicată la zăcămintele de minereuri.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește delimitarea zonei de extindere a baritinei și stabilirea ipotezei asupra formei și constituției zăcămîntului, folosind lucrări de suprafață și foraje de referință. Explorarea preliminară principală se execută cu lucrări miniere (galerii direcționale, breșe etc.) și foraje dirijate.

Explorarea de detaliu se face pe baza studiului tehnico-economic, urmărindu-se concomitent deschiderea și pregătirea zăcămîntului.

Fluorina apare frecvent în ganga zăcămintelor hidrotermale de plumb și zinc, cupru etc., formate la diverse temperaturi, de la hipo la epitermale, împreună cu cuarțul, baritina, calcita și siderita.

Explorarea se face după aceleași criterii ca și în cazul explorării zăcămintelor filoniene de minereuri.

4.3.5 EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE FELDSPAT, MICĂ ȘI CUARȚ

Feldspatul, mica și cuarțul au numeroase utilizări în industrie. Feldspatul este folosit în special în ceramică, pentru glazura porțelanurilor etc., mica se utilizează ca izolator în industria electrotehnică și în construcția unor mașini și utilaje, iar cuarțul este utilizat ca material piezooptic.

Feldpsatul, mica și o mare parte din cuarțul piezooptic se găsesc în pegmatitele granitice.

Explorarea pegmatitelor pentru feldspat, mică și cuarț este dificilă, deoarece acestea apar sub formă de corpuri de dimensiuni mici și cu forme foarte complicate, răspîndite pe o suprafață mare și avînd o constituție capricioasă.

Explorarea preliminară pregătitoare urmărește în primul rînd nivelul la care se găsesc corpurile pegmatitice și sorturile substanțelor nemetalifere. Se efectuează prin puțuri, galerii de coastă și prin foraje de referință de mică adîncime, pentru clarificarea ipotezei asupra extinderii și distribuției corpurilor pegmatitice în zona cercetată.

Explorarea preliminară principală se continuă prin galerii de coastă, breșe și foraje dirijate, pentru delimitarea corpurilor de pegmatit, compoziției lor pe sorturi și extinderii acestora.

La explorarea de detaliu este indicat să fie cercetate simultan mai multe corpuri.

4.3.6. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE SERPENTINĂ, TALC ȘI MAGNEZIT

Serpentina pură este formată din MgO (43%), SiO_2 (44,1%) și H_2O (12,9%). Printr-un metamorfism hidrotermal mai avansat sau în legătură cu acțiunea de silicifiere și a bioxidului de carbon rezultă talcul (31,7% MgO, 63,5% SiO_2 și 4,8% H_2O) și magnezitul (47,6% MgO și 52,41% CO_2).

Zăcămintele de serpentină, talc și magnezit au de cele mai multe ori structuri complexe, apărînd sub formă de filoane, lentile, coșuri, strate etc., de diferite sorturi. De aceea și explorarea lor este foarte complicată. În explorarea preliminară pregătitoare se urmărește studiul structurii și metamorfismului, precum și evoluția magmatismului, ținînd seama și de rocile învecinate. Prin lucrările de referință formate din șanțuri, puțuri, galerii de coastă și foraje se clarifică ipoteza formei zăcămîntului și distribuției mineralizației. În explorarea preliminară principală se urmărește extinderea mineralizației și precizarea caracterului acesteia, printr-un program corespunzător de lucrări miniere sau combinate. În corpurile mari de serpentine se pot aplica gabarite între 300 și 1 000 m, iar pentru corpurile mici gabarite între 50 și 300 m (fig. XI.147).

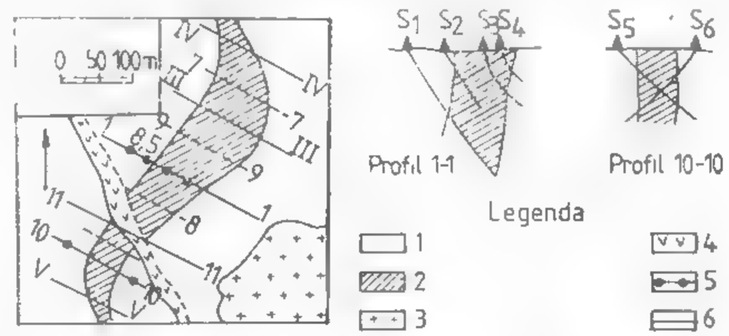


Fig. XI.147. Explorarea unui zăcămînt de talc:

1 — roci carbonatice; *2* — roci talcomagneziene; *3* — granite; *4* — porfire; *5* — aliniamente de foraje; *6* — aliniamente de lucrări de explorare (șanțuri, puțuri de mină și foraje).

Pentru serpentinele ce se exploatează prin lucrări la zi, explorarea se face prin foraje și numai talcul și magnezitul se explorează prin lucrări miniere. În cazul zăcămintelor de serpentine extinse în adîncime, explorarea se face prin galerii de coastă și lucrări miniere combinate.

Explorarea de detaliu se face de obicei concomitent cu exploatarea, pe baza studiilor tehnico-economice și de sistematizare a exploatării.

4.3.7. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE DISTEN, ANDALUZIT ȘI SILLIMANIT

Aceste minerale sînt metasilicați de aluminiu și au aceeași compoziție chimică 63,1% Al_2O_3 și 36,9% SiO_2.

Distenul apare în roci metamorfice bogate în aluminiu, de regulă în zona de trecere de la gnaise la micașisturi cu conținuturi de 3—15% disten; alteori apare sub formă de cuiburi sau agregate de cristale.

Andaluzitul apare la contactul granitelor cu roci metamorfice și în cuarțite, în vecinătatea corindonului. Conținutul de andaluzit în cuarțite este în jur de 18%.

Sillimanitul apare în zona de contact a unor granite cu turmalină, sub formă de lentile sau cuiburi cu conținut pînă la 85%.

În explorarea preliminară pentru **disten** se urmărește conturarea zonelor sau a corpurilor cu conținut de disten, andaluzit și sillimanit. În explorarea preliminară pregătitoare se completează documentația obținută prin cartare și prospecțiune, utilizînd foraje de referință pentru cercetarea adîncimii gnaiselor și variației grosimii micașisturilor cu disten. Dacă relieful este accidentat se urmărește variația conținutului de disten prin galerii de coastă.

Explorarea preliminară principală se efectuează printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 200 pînă la 1 000 m, cu distanța între aliniamente aleasă după condițiile de teren. Concomitent cu forajele se vor executa galerii de coastă pentru urmărirea conținutului mediu de disten și variației între conținuturile maxime și minime.

Explorarea de detaliu se face concomitent cu exploatarea și trebuie să asigure un volum de rezerve pentru 3—4 ani. Dacă exploatarea se face în carieră, prin explorarea de detaliu se precizează și forma și volumul descopertei, pentru care se execută foraje în rețea la distanțe de 50—200 m.

Zăcămintele de **andaluzit** se explorează în același mod, căutînd să se delimiteze zonele cu conținut mai ridicat față de zonele cu conținut mediu normal.

Această delimitare se face în faza explorării preliminare principale, săpînd galerii direcționale și breșe la distanțe de 25—100 m. Explorarea de detaliu urmărește odată cu obiectivul geologic și deschiderea și pregătirea zăcămîntului.

Zăcămintele de **sillimanit** apar sub formă de corpuri și lentile. În explorarea preliminară pregătitoare se urmăresc contactele rocilor granitice și zonele de mineralizare, utilizînd foraje de referință și eventual galerii de coastă.

4.3.8. EXPLORAREA ZĂCĂMINTELOR DE AZBEST ȘI CORINDON

Explorarea zăcămintelor de **azbest** este dificilă. În explorarea preliminară se urmăresc serpentinele și se delimitează diferitele sorturi de serpentine, cu metamorfismul, alterația și accidentele suferite.

Se urmăresc, de asemenea, pegmatitele și în special filoanele de pegmatit sau cuarț care au legătură cu serpentinele.

Zonele cu azbest au forme lenticulare sau ramificate. Explorarea preliminară se face cu lucrări miniere (puțuri de mînă, galerii de coastă, breșe) și foraje scurte, la diferite nivele, cu distanțe de maximum 50 m (fig. XI.148) pe verticală și 50—200 m pe orizontală.

Corindonul este oxid de aluminiu cristalizat. Apare în roci metamorfice, în zonele de contact cu unele corpuri magmatice.

Zăcămintele de corindon apar sub formă de cuiburi lentiliforme. Explorarea se face după aceleași criterii aplicate, în general, în cercetarea substanțelor ce apar sub formă de corpuri mici sau agregate de cristale de valoare mare.

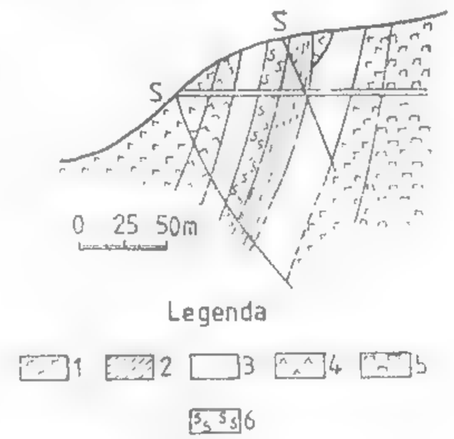


Fig. XI.148. Explorarea unui zăcămînt de azbest prin foraje și galerii:
1 — serpentine; 2 — serpentine mineralizate; 3 — serpentine cu carbonați și talc; 4 — dunite; 5 — peridotite

Explorarea se începe cu lucrări de suprafață pe baza cărora se execută foraje de referință sau lucrări miniere pentru cercetarea contactelor corpurilor magmatice, a distribuției diferitelor zone de metamorfism, a structurii lor, a fracturilor și aureolelor cu corindon.

4.3.9. EXPLORAREA ROCILOR CARBONATICE (CALCARE, DOLOMITE, MAGNEZITE)

Prin roci carbonatice se înțeleg acele roci care conțin peste 80% carbonați. În constituția lor mineralogică pe lîngă constituenții principali, care sînt carbonatul de calciu și de magneziu, mai conțin carbonați de Fe, Mn, Sr, Ba, Zn etc. Aceste roci au numeroase utilizări în industrie, după proprietățile lor fizico-mecanice și chimice.

Pentru extragerea calcarului din masivele calcaroase, în condiții economice și de calitate corespunzătoare domeniului respectiv de utilizare, este necesar ca aceste zăcăminte să fie explorate pentru a se pune în evidență potențialul cantitativ și calitativ pe sorturi. O atenție în explorare trebuie să se acorde atît descopertei cît și deșeurilor calcaroase, în special sub aspectul posibilităților de folosire în diferite domenii (fabricarea cărămizilor, mozaic, ciment, refacerea solurilor etc.).

În explorarea preliminară, subfaza pregătitoare, se urmărește conturarea masivului de calcare, folosind ca lucrări de explorare șanțuri, puțuri de mînă, foraje. Pentru materialele de construcții este necesar să se facă și un studiu structural. Pentru determinarea succesiunii formațiunilor, intruziunilor, intercalațiilor etc., se execută foraje de referință sau galerii.

În explorarea preliminară se verifică ipoteza asupra extinderii și delimitării masivului calcaros printr-o rețea de foraje la distanța de 200—1 000 m însoțite de galerii de coastă în cazul unui relief pronunțat. Aliniamentele se orientează perpendicular pe direcția de extindere a masivului (fig. XI.149).

Explorarea de detaliu se face printr-o rețea de foraje sau galerii săpate la distanțe de 50—300 m, executîndu-se și lucrările de descopertare.

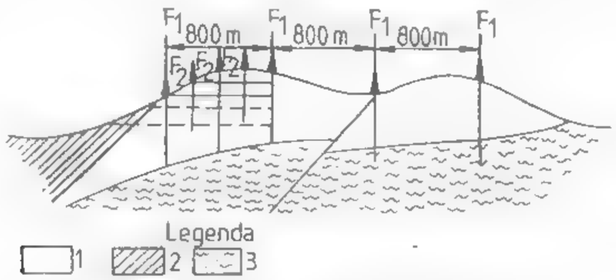


Fig. XI.149. Explorarea preliminară a unui masiv de calcar:

1 — calcar; *2* — sisturi de acoperiș; *3* — sisturi de culcuș; *F1*, *F2* — foraje de explorare în etapele *1* și *2*

În explorarea calcarelor și dolomitelor prin foraje, o atenție deosebită trebuie acordată tehnologiei de foraj, ținînd seama de accidentele ce pot surveni ca urmare a fisurării, golurilor carstice etc.

4.3.10. EXPLORAREA SILICAȚILOR ALUMINOȘI

Sub denumirea de silicați aluminoși se cuprind silicații de aluminiu hidratați, cu impurități mai mari sau mai mici. Cînd conțin oxizi de fier sau au în amestec diferite minerale de siliciu, mică etc., se numesc *argile*.

După domeniile de utilizare se deosebesc șapte sorturi principale de silicați aluminoși: *argilă refractară, argilă caolinoasă, nisipuri caolinoase, bentonite și vermiculite, argile pentru fluid de foraj, roci argiloase de cărămidărie și caolinuri.*

Zăcămintele de silicați aluminoși se stabilesc după criteriile de utilizare a acestora.

Explorarea trebuie să se limiteze la delimitarea strictă a sectoarelor corespunzătoare sortului respectiv în care urmează să se facă exploatarea. Din punct de vedere economic prezintă importanță zăcămintele sau zonele ușor accesibile, cu roci acoperitoare subțiri, cu condiții de exploatare la zi și condiții ușoare de haldare.

Explorarea preliminară pregătitoare, prin datele obținute, trebuie să completeze datele prospecțiunii, în scopul stabilirii calităților tehnologice ale silicaților aluminoși să delimiteze sorturile pe baza cercetărilor de laborator și chiar a probelor tehnologice. În acest scop explorarea preliminară pregătitoare se va face prin lucrări ușoare de suprafață, șanțuri, puțuri de mină, foraje scurte și chiar foraje de referință, pentru lămurirea genezei și extinderii sorturilor.

Explorarea preliminară principală are sarcina, în primul rînd, de a stabili extinderea sorturilor în zăcămînt și variația calității acestora, astfel încît să se poată determina prin calculele tehnico-economice: dinamica producției, dezvoltarea exploatării și condițiile economice de exploatare. În acest scop se folosesc rețele geometrice cu liniile orientate perpendicular pe direcția de extindere a zăcămîntului sau pe direcția

liniilor de nivel a reliefului, cu gabarite ce variază de la 200 la 1 000 m sau mai mici, în zonele cu variații mari ale grosimilor și conținuturilor.

În mod practic se execută la început explorarea pe două aliniamente în cruce, la gabarit de 200—400 m, pentru stabilirea parametrilor principali ai zăcămîntului.

Ca lucrări pentru zăcămintele stratiforme se utilizează forajele ușoare executate cu sondeze.

Explorarea de detaliu se execută pentru a stabili gradul de asigurare cu rezerve, pe măsura exploatării, la capacitățile stabilite prin proiectul de sistematizare al exploatării. În explorarea de detaliu se utilizează gabarite corespunzătoare programării descopertei și întocmirii preliminariilor anuale de producție, de obicei cuprinse între 100 și 300 m.

Pentru acest tip de substanțe, explorarea se face în general cu lucrări ușoare și cu volume mici, astfel încît costul lor să nu depășească cîteva procente din valoarea substanței minerale, fără să depășească 10%.

4.3.11. EXPLORAREA MARNELOR

Rocile omogene compacte și cu granulație fină, formate din substanță argiloasă și carbonat de calciu în conținuturi cuprinse între 30 și 70% se numesc *marne*.

În explorare se urmărește extinderea stratelor de marne, de delimitare în cuprinsul lor a eventualelor zone silicifiate, intercalațiilor sterile etc. Prin explorarea preliminară pregătitoare se determină conturul zonei ce urmează să fie explorată în continuare, se stabilește distribuția conținutului substanței, caracteristicile stratelor acoperitoare și se va formula ipoteza asupra extinderii zăcămîntului.

Explorarea preliminară principală va verifica, prin lucrările corespunzătoare ipoteza asupra structurii generale și asupra formei zăcămîntului pentru perimetrul prospectat și eventualele sorturi. Ea se efectuează printr-o rețea de foraje la distanțe de 300 pînă la 1 500 m. După configurația terenului, forajele se înlocuiesc cu galerii de coastă și suitori.

Explorarea de detaliu se continuă în zonele prevăzute a intra în exploatare. Prin lucrările din această etapă se delimitează blocurile de exploatare, zone de descopertare, sorturile de marne și zonele sterile, în vederea întocmirii preliminarelor de producție. În acest scop se execută, de obicei, foraje în rețea, la gabarite cuprinse între 100 și 500 m.

4.3.12. EXPLORAREA ROCILOR SILICIOASE

Sub această denumire sînt cuprinse rocile cu conținut foarte ridicat de silice (peste 90% SiO_2).

Din punctul de vedere al explorării, rocile silicioase se clasifică în trei clase:

roci silicioase sedimentare detritice (nisipuri, gresii, pietrișuri etc.);
roci silicioase organogene (diatomite, radiolaritate etc.);
roci silicioase metamorfice și hidrotermale (cuarțite, calcedonie, opal etc.).

Prin lucrările de explorare se urmărește extinderea zonelor exploatabile și calitatea rocilor respective.

Ca lucrări de explorare preliminară pregătitoare se execută șanțuri, puțuri de mînă, foraje manuale, foraje cu sondeze autopurtate și mai rar lucrări miniere grele. Explorarea preliminară trebuie să aibă în vedere obținerea datelor necesare întocmirii studiului tehnico-economic de etapă și proiectului general de sistematizare. Ea se execută în rețea de foraje la gabarite de 300 și 1 000 m sau mai mici pentru zonele cu accidente structurale, variații de conținut etc.

Explorarea de detaliu se efectuează în sectoarele prevăzute pentru exploatare, în vederea asigurării cu rezerve pe 3—5 ani. Ca lucrări se aplică forajele și lucrările miniere sau lucrări combinate.

Probarea se face prin brazde în lucrările miniere și prin carotaj în foraje.

Cuarțitele fac parte din clasa a 3-a a rocilor silicioase metamorfice și se caracterizează prin conținutul lor ridicat în cuarț (de peste 95%) și conținuturi scăzute de Fe_2O_3 (sub 1,5—2%), Al_2O_3 (sub 2%) și CaO (sub 1,5%).

Pentru stabilirea extinderii zăcămîntului și a sorturilor se execută lucrări de referință — foraje sau lucrări miniere (galerii de coastă, foraje dirijate subterane). Gabaritele indicate sînt de la 200 pînă la 800 m.

Explorarea de detaliu se face în scopul asigurării cu rezerve pe o durată de obicei de 2—3 ani. În această etapă se folosesc gabarite de 50—500 m.

4.3.13. EXPLORAREA NISIPURILOR ȘI PIETRIȘURILOR (AGREGATELOR)

Sub denumirea de agregate sînt cuprinse nisipurile și pietrișurile folosite la prepararea betoanelor și mortarelor.

Se deosebesc zăcăminte aluvionare, care se exploatează sub nivelul apei, și zăcăminte din depozite situate deasupra nivelului apei.

Explorarea lor preliminară pregătitoare se face cu unul sau două foraje de referință, în scopul de a stabili succesiunea sedimentației și patul aluviunii sau depozitului de agregate. În continuare, pentru valorificarea ipotezei asupra formei și calității substanței, se execută explorarea preliminară principală cu foraje la distanțe de 200—500 m, pe aliniamente perpendiculare pe direcția extinderii zăcămîntului, așezate la distanțe de la 500 pînă la 2 000 m. Forajele nu trebuie să depășească patul depozitelor agregate și cel puțin 2/3 din ele nu vor depăși cu mai mult de 1 m nivelul de exploatare.

Pentru zăcămintele aflate deasupra nivelului hidrostatic, în locul forajelor se execută puțuri susținute și bandajate.

Explorarea preliminară principală urmărește obținerea elementelor pe baza cărora să se poată determina rezistența și consistența agregatului uscat, ud și sub apă și posibilitățile de curgere, elemente care stau la baza proiectării exploatării.

Explorarea de detaliu se execută, pentru perimetrul stabilit a intra în exploatare, prin foraje sau puțuri la distanțe de la 200 pînă la 500 m și cu adîncimi corespunzătoare pentru determinarea grosimii descopertei și a stratului exploatabil.

4.3.14. EXPLORAREA ROCILOR DE CONSTRUCȚII

Din această categorie fac parte rocile tari, rezistente la solicitări, alterație, eroziune și pretabile la fasonări.

Acestea se clasifică în:

roci de calitate superioară, utilizate la învelișuri, ornamente etc.;
— roci de calitate medie, care se modelează grosolan și au o rezistență mare;
- roci utilizate sub formă de sfărîmături, ca materiale de umplutură.

Zăcămintele identificate pe baza cartărilor și a prospecțiunilor se explorează în continuare. În explorarea preliminară pregătitoare se efectuează dezveliri, lucrări de foraje și galerii de referință pentru clarificarea extinderii, constituției sorturilor de rocă, procentului diferitelor sorturi și se determină parametrii calității prin probări tehnologice de laborator.

Explorarea preliminară principală se execută printr-o rețea de foraje cu gabarite de la 300 pînă la 1 500 m, pentru precizarea extinderii zăcămîntului și a sorturilor pe care le conține, precum și a variației parametrilor calitativi, elementelor de microtehtonică și variației clivajelor naturale. Pe baza acestor elemente se întocmește studiul tehnico-economic de etapă și proiectarea exploatării.

Explorarea de detaliu se efectuează în zonele stabilite pentru exploatare, utilizînd foraje și mai rar lucrări miniere. Prin explorarea de detaliu se stabilește volumul necesar de descopertat sau de derocări pentru înlăturarea zonelor alterate și a sterilului.

XII. PROBAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Ing. FILOMENOS SAVIN
Ing. VIOREL BRÂNDA

Explorarea substanței minerale utile permite de cele mai multe ori accesul în zăcămînt, oferind atît posibilitatea efectuării de observații directe asupra caracteristicilor corpului, cît și posibilitatea recoltării de probe în vederea determinării caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice ale componenților valorificării. Probarea este o operație foarte importantă în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe în ceea ce privește luarea unor decizii de valorificare a unei substanțe minerale utile, oferindu-ne totodată posibilitatea dirijării cît mai corecte și mai eficiente a lucrărilor de cercetare geologică și chiar a exploatării.

Probarea, ca parte importantă a cercetării geologice, furnizează o serie de informații, cum ar fi:

- delimitarea zonelor cu mineralizație bogată;
- delimitarea conturului industrial;
- delimitarea diferitelor sorturi de minereu;
- determinarea conținuturilor în componenți utili principali și accesorii valorificabili și a componenților dăunători, în vederea stabilirii condițiilor de valorificare a minereului;
- pentru proiectarea exploatării (mai precis pentru determinarea condițiilor industriale) se poate cunoaște, cu o anumită precizie, comportarea substanțelor minerale utile în diferite faze tehnologice de valorificare etc.

Ca urmare a creșterii necesarului de materii prime minerale din producția internă și a reducerii importului, în etapa actuală trebuie acordată o foarte mare importanță problemei determinării calității substanței minerale utile, problemă care își are rezolvarea în mare parte printr-o probare cît mai corectă și mai sistematică.

1. PRINCIPII DE BAZĂ

1.1. CONDIȚIILE UNEI PROBĂRI CORECTE A ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Probarea, ca parte integrantă a tuturor etapelor de cercetare geologică, cuprinde o serie de faze, cum ar fi:

- recoltarea probelor (prelevarea unei cantități de substanță minerală utilă care să caracterizeze întreaga cantitate de substanță minerală din care a fost extrasă);
- prelucrarea probelor în funcție de obiectivul urmărit;

- determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice a materialului probă prelucrat;
- prelucrarea informațiilor obținute în vederea determinării parametrilor de decizie asupra zăcămîntului.

În activitatea practică toate fazele menționate mai sus au o deosebită importanță, orice greșeală comisă avînd implicații negative, uneori cu consecințe economice grave, pe tot parcursul cercetării și implicit al valorificării. Pentru evitarea comiterii erorilor, sarcina specialistului este de a veghea în mod direct sau indirect, întreg procesul de probare, respectîndu-se cu strictețe o serie ed condiții privind metodica prelevării probelor, obținerea rezultatelor și interpretarea lor.

1.1.1. OBIECTIVITATEA ȘI REPREZENTATIVITATEA PROBĂRII

Obiectivitatea și reprezentativitatea probării sînt două condiții inseparabile deoarece o probă dacă nu a fost prelevată obiectiv nu poate fi reprezentativă.

Așadar, obiectivitatea trebuie avută în vedere în toate etapele probării, astfel:

a) În etapa de prelevare trebuie acordată mare atenție în ce privește:

- metodica de probare, care trebuie să fie aleasă în funcție de tipul de zăcămînt și al metodicii de explorare (și nu în mod arbitrar);
- densitatea de probare;
- mărimea probelor;
- evitarea contaminării materialului probă (pregătirea locului, captarea materialului excavat, ambalarea materialului, transportul probelor etc.);
- controlul probării, care trebuie făcut periodic și cu maximum de atenție.

b) În cazul prelucrării probelor (a doua etapă a probării) trebuie respectate cele patru operații (sfărîmarea, măcinarea, omogenizarea și reducerea materialului probă).

c) Pentru determinarea caracteristicilor calitative, cantitative și tehnologice trebuie utilizată aparatura de cea mai bună calitate, făcută cunoscută aparatului etapa fiecare probă și folosit personal cu cea mai înaltă specializare și conștiință profesională.

d) În cazul prelucrării informațiilor obținute trebuie utilizate mai multe metode, verificîndu-se în acest mod rezultatele și depistarea eventualelor erori comise.

În concluzie, pentru respectarea obiectivității probării trebuie avută o mare atenție, depistîndu-se la timp toate erorile, indiferent de mărime și trecîndu-se la eliminarea lor.

Reprezentativitatea probării presupune păstrarea proporției între mineralele care formează proba și mineralele din zona probată sau din zona de influență a lucrării de cercetare. Problema păstrării reprezentativității se pare simplă în cazul zăcămintelor cu un grad mare de uniformitate a componenților utili, dar ea trebuie rezolvată și pentru zăcămintele cu grad mic de uniformitate sau foarte neuniforme, deci, cu alte cuvinte, în asemenea situații trebuie rezolvate două probleme principale: 1) *distanța optimă între probe* și 2) *greutatea optimă a probei*.

Din practică rezultă că probarea este cu atît mai reprezentativă cu cît intervalul dintre probe este mai mic (Albov M. H., 1965), dar acest interval nu se poate micșora foarte mult din cauza economicității și a posibilității de probare (lucrare minieră sau foraj). Totuși problema pare a fi rezolvată, luîndu-se în considerare eroarea admisă de practică pentru diferite clase de zăcăminte.

În ce privește greutatea optimă a probei, trebuie avut în vedere faptul că, ori de cîte ori avem de-a face cu mineralizații variabile în componenți utili, este necesar să se determine experimental cantitatea optimă de material probă, în așa fel încît să nu se depășească erorile admise de fiecare clasă de zăcăminte.

O situație aparte apare în cazul zăcămintelor fără o limită netă între roca mineralizată și roca înconjurătoare, situație în care reprezentativitatea este respectată prin calcularea conținutului limită de conturare, conținutului mediu minim și conținutului mediu pe bloc marginal.

În concluze, trebuie acordată o foarte mare atenție reprezentativității probei, avîndu-se în vedere următoarele: 1) cantitatea care reprezintă mineralizația este foarte mică în comparație cu masa mare a corpului, 2) rezultatele probării se iau în considerare în vederea luării unor decizii privind valorificarea zăcămîntului.

1.1.2. OPERATIVITATEA ȘI PRODUCTIVITATEA PROBĂRII

Operativitatea și productivitatea probării reprezintă o condiție care trebuie avută în vedere în toate etapele cercetării geologice și mai ales în cazul explorării, deoarece explorarea presupune un număr mare de utilaje și un mare efort financiar. Astfel, operativitatea permite continuarea sau sistarea unor lucrări în etapa de explorare preliminară sau luarea în timp util a unor decizii de a se trece la întocmirea proiectelor de exploatare (în etapa de detaliu), ba mai mult, în cazul zăcămintelor diseminate operativitatea analizelor de laborator conduce la delimitarea resurselor valorificabile la un moment dat.

Productivitatea ridicată rezultă atît printr-o operativitate mare cît și prin folosirea unei metode cît mai productive în cazul aceluiași tip de zăcămînt (așa de exemplu, probarea prin găuri de mină sau prin carotaj mecanic influențează productivitatea procesului de probare), alături de organizarea cît mai bună a procesului tehnologic de prelucrare a probelor, alegerea aparaturii corespunzătoare și folosirea unui personal cu înaltă calificare.

Operativitatea și productivitatea probării influențează în mod direct eficiența economică a explorării în general și a probării în special, iar obiectivitatea și reprezentativitatea influențează în mod direct, conducînd astfel la obținerea unei informații cît mai apropiate de realitate, deci, implicit, luarea unor decizii cît mai sigure de realizare a unei eficiențe cît mai mari a cercetării geologice și la sporirea necesarului de materii prime minerale pe economie.

2. TIPURILE PRINCIPALE DE PROBARE UTILIZATE ÎN LUCRĂRILE DE EXPLORARE

Lucrările de explorare ne permit accesul în mod direct la zăcămînt (sub baza de eroziune), oferind posibilitatea aplicării unui număr cît mai mare de tipuri de probare, iar alegerea unuia sau a altui tip de probare este în funcție de condițiile concrete existente la un moment dat.

2.1. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR MINERALOGICE (PROBAREA MINERALOGICĂ)

Probarea pentru determinarea caracteristicilor mineralogice se aplică în toate etapele explorării geologice, dar cu precădere în explorarea preliminară, urmărindu-se în principal următoarele aspecte:

— stabilirea compoziției mineralogice;

— repartiția spațială în cadrul corpului de substanță minerală utilă a componenților mineralogici;

— determinarea compoziției mineralogice cantitative a substanței minerale utile, și apoi determinarea compoziției chimice, lucru care oferă posibilitatea, în unele situații, să se renunțe la probarea chimică;

— stabilirea proprietăților fizice ale mineralelor (duritate, clivaj, friabilitate proprietăți magnetice, conductibilitate electrică etc.);

— determinarea unor caracteristici necesare stabilirii fluxului tehnologic (grad de concreștere a mineralelor, mărimea granulelor minerale, legătura între mineralele principale și mineralele accesorii etc);

— stabilirea unor parageneze care pot face obiectul unei exploatări separate (selective);

— stabilirea unor zone sterile sau chiar stabilirea limitei industriale a corpului de substanțe minerale utile etc.

Probarea mineralogică se poate aplica pentru toate tipurile de lucrări miniere.

Din cadrul metodelor de probare mineralogică cele mai utilizate sînt: *metoda eșantionării, metoda sorturilor de mineraie și metoda bazată pe separări gravitaționale.*

Metoda eșantionării se aplică în cazul zăcămintelor de formă tabulară consolidate și constă în prelevarea de eșantioane (probe) de dimensiuni mici (de pînă la 3—4 dm), după direcția de măsurare a grosimii normale a corpului mineralizat în lucrarea de explorare, fiecare eșantion reprezentînd o probă (elementară) care urmează să fie studiată separat.

Studierea eșantioanelor se face pe baza proprietăților fizice și optice a mineralelor componente, iar studiul acestor proprietăți conduce în final la indicații prețioase cu privire la posibilitățile de valorificare a substanțelor minerale utile.

Caracteristicile calitative (conținutul în componenți mineralogici) se determină cu lupa binoculară sau cu microscopul, urmărindu-se mai multe etape, după cum urmează:

— realizarea unei suprafețe lustruite pe partea reprezentativă a eșantionului, suprafață care trebuie să cuprindă variația maximă a componenților mineralogici,

— pe suprafața lustruită astfel obținută se așază o sticlă gravată în pătrățele de 25 mm² (sticla avînd formă dreptunghiulară);

— cu ajutorul acestei sticle, sub lupa binoculară (care mărește de 8—10 ori) se planimetrează suprafața (s_i) ocupată de fiecare mineral pe toată suprafața eșantionului;

— se consideră că mineralele din cadrul eșantionului se extind pe aceeași grosime și cu densitatea δ_i;

în continuare se determină conținuturile mineralogice (c_j) pentru fiecare tip de mineral j, aplicînd succesiv relația:

$$c_j = \frac{s_j \delta_j}{\sum_{1}^{n} s_i \delta_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

n fiind numărul de minerale componente; mărind gradul de aproximare se poate înlocui suprafața s cu numărul de ochiuri (pătrățele);

de la conținutul în mineral se poate trece la conținutul în component util (c_u), luîndu-se în considerare conținutul teoretic (c_{tj}) al mineralului respectiv și utilizînd următoarea formulă

$$c_u = \frac{c_{tj}}{100} \quad [\%]$$

— în continuare se repetă procedeul pentru fiecare eșantion și pentru toți componenții utili, iar rezultatele sînt comparabile cu ale probării chimice;

conținuturile medii de minerale utile ($\bar{c}_m$) pe fiecare loc de probare se determină cu formula

$$\bar{c}_m = \frac{\sum_{k=1}^{e} c_{mk} \cdot S_k}{\sum_{k=1}^{e} S_k} \quad [\%]$$

în care: $m = 1, 2, \ldots, r$ reprezintă numărul de componenți mineralogici, $k = 1, 2, 3, \ldots$ $\ldots, e$ eșantioane, S_k – suprafața șlefuită a eșantionului k;

conținutul mediu ($\bar{c}$) în componenți utili se determină cu formula

$$\bar{c} = \frac{\bar{c}_m \cdot S_{tj}}{100} \quad [\%], \text{ sau } [g/t], \text{ pentru metale prețioase.}$$

Metoda prezentată permite, de asemenea, punerea în evidență a variației componenților utili în locul de probare, iar dacă nu se urmărește acest lucru (avem mineralizație omogenă), pentru determinarea conținuturilor în minerale sau în componenți utili se însumează suprafața ocupată de fiecare mineral util pe toate eșantioanele de probare (sau numărul de ochiuri) care urmează să fie înmulțite cu densitatea mineralelor respective.

În cazul mineralizațiilor de impregnație, folosirea acestui procedeu conduce la conturarea corpurilor, la dirijarea lucrărilor de explorare sau chiar de exploatare, deoarece procedeul este destul de simplu și rapid, conducînd în același timp și la reducerea considerabilă a investiției specifice.

Metoda sorturilor de minereu se aplică în cazul zăcămintelor unde se pot individualiza (din punct de vedere mineralogic și chimic) tipuri de minereu, indiferent dacă acestea se pot extrage în mod separat sau nu în timpul exploatării. Mai precis, domeniul de aplicare a metodei are extindere asupra zăcămintelor de formă tabulară, în care distribuția zonară a mineralizației variază în special după grosimea normală și asupra zăcămintelor sub formă de stockwerk (metasomatică), unde pot apare zone de concentrații mai mari sau mai mici de formă concentrică.

La aplicarea metodei, de regulă, se urmăresc mai multe etape cum sînt

— cartarea geologică detaliată a locului de probare (tavanul galeriei, perete sau front), scara 1:100, 1:50, 1:20, cu delimitarea cît mai corectă a sorturilor de minereu;

— determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe tipuri de minereu, determinare care se face pe probe chimice sau mineralogice;

determinarea masei volumetrice pe fiecare tip de minereu.

calculul conținuturilor medii pe tipuri de minereu, cu relațiile

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{c}_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^{n} g_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă tabulară și}$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{c}_i \cdot s_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} \quad [\%], \text{ pentru corpurile sub formă de stock.}$$

în care

$\bar{c}$ este conținutul mediu într-un anumit element sau mineral util; $\bar{c}_i$ — conținutul mediu în element sau mineral a tipului de minereu i; g_i — grosimea tipului de minereu i; s_i — suprafața tipului de minereu i; n — numărul tipurilor de minereuri diferențiate.

În cazul în care tipurile de minereu au mase volumetrice net diferențiate, atunci în relațiile de mai sus se ponderează și cu masa volumetrică.

Grosimile g_i și suprafețele s_i se măsoară pe planșă, ținîndu-se seama de scara de cartare, iar măsurătorile se fac la echidistanțe stabilite în mod experimental.

Rezultatele obținute în acest mod au un caracter informativ, iar metoda se aplică numai în cazul explorării cu lucrări miniere. Totuși, metoda în sine se caracterizează prin operativitate și economicitate ridicată, deoarece nu presupune recoltarea de probe geologice.

Metoda bazată pe separări gravitaționale se aplică în cazul explorării zăcămintelor de substanțe minerale utile aluvionare, în care separarea mineralelor utile de cele de gangă se poate face în mod gravitațional.

Etapele probării:

— recoltarea materialului probă (prelevarea probei) se face

- din lucrări miniere (puțuri de mînă și galerii);
- prin dragaj (în cazul zăcămintelor situate sub apă),
- din foraje;

— dezagregarea, care presupune desfacerea materialului probă în particule monominerale,

— spălarea probei, operație în care mineralele cu densitate mare (utile) sînt reținute, iar cele cu densitate mică sînt eliminate,

separarea, care se face cu căușul sau șaitrocul cu apă mai puțină, iar identificarea elementelor utile se face după culoare;

– uscarea se realizează în vase metalice speciale sau chiar în căuș;

– determinarea conținutului în minerale grele, care se face prin cîntărire.

Metoda este simplă, de un caracter informativ, ceea ce face să fie folosită în primele etape ale explorării sau chiar și în etapa de detaliu, pentru dirijarea lucrărilor

2.2. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR CHIMICE

Acest tip de probare este necesar în oricare dintre etapele de cercetare geologică urmărindu-se, în cazul zăcămintelor metalifere, determinarea componenților utili și dăunători, iar în cazul zăcămintelor nemetalifere și a rocilor utile, prin acest tip de probare se urmărește și determinarea altor caracteristici.

Dintre metodele cele mai utilizate în practică sînt prezentate în continuare cele mai importante din punct de vedere al aplicabilității.

Probarea substanței minerale utile prin brazde are o foarte mare aplicabilitate în toate fazele de cercetare geologică și constă în realizarea unei excavații — pe tavanul, frontul sau unul din pereții lucrării miniere — de forma unei prisme drepte (dreptunghiulare sau triunghiulare), iar materialul rezultat reprezintă proba.

La prelevarea unei brazde trebuie să se țină seama de o serie de factori care ar fi:

– lungimea brazdei (axa mare) să fie orientată după direcția de variație maximă a mineralizației (de regulă după grosimea normală sau aparentă a corpului);

– de regulă, probele se iau după întreaga grosime de variație a substanței minerale utile și numai în cazul unei omogenități foarte mari se admit abateri de la această regulă;

– se vor menține aceleași dimensiuni ale brazdelor pe toată porțiunea de prelevare;

– desimea probelor trebuie să mențină caracterul reprezentativ al probării;

– locurile de probare se pregătesc în așa fel încît să se evite contaminarea probelor;

– dimensiunile excavațiilor (brazdelor) se aleg în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației și de tăria rocilor etc.

Mărimea secțiunii transversale se ia, de regulă, invers proporțională cu gradul de uniformitate a distribuției componenților utili din cadrul mineralizației. Duritatea influențează în cea mai mare parte mijloacele de prelevare și costul operației de probare. În practică se recoltează probe cu dimensiuni transversale de 100 × 50 mm sau de 100 × 30 mm, 100 mm reprezentînd lățimea brazdei, iar 50 mm respectiv 30 mm adîncimea. Aceste dimensiuni nu se respectă întotdeauna deoarece există o serie de situații concrete cînd ele variază pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării; astfel în cazul mineralizațiilor foarte neuniforme, dimensiunile se iau în funcție de greutatea minimă admisă a materialului care constituie proba (pe unele porțiuni ale corpului, unde variația componenților utili este mare, probele trebuie să aibă dimensiuni mari și invers), iar pentru mineralizații cu variații mici brazdele pot avea dimensiuni mai mici decît cele prezentate.

Lungimea brazdelor se alege în funcție de grosimea corpului și de caracterul mineralizației. Pentru corpuri cu grosime de pînă la 1,20 m se recoltează o singură

probă în locul respectiv, iar dacă grosimea corpului este cuprinsă între 1,20 și 2,00 se pot lua:

– o singură probă (mineralizație omogenă);

– două probe egale (mineralizație mai puțin omogenă);

– mai multe probe, fiecare avînd lungimea egală cu grosimea unui tip de minereu.

În cazul corpurilor de grosime mare (> 2 m) lungimea probei poate fi ⩾ 1 m, în funcție de omogenitatea mineralizației. Secționarea probelor urmărește în principal probarea selectivă a tipurilor de minereu, care s-ar putea extrage în mod separat în procesul exploatării. Pentru mineralizații omogene și foarte omogene lungimea probelor poate fi foarte mare (o probă poate fi chiar pe toată grosimea corpului), realizîndu-se astfel o eficiență mai mare a procesului de probare. Un caz cu totul aparte îl constituie corpurile de dimensiuni mari care nu au limite nete cu roca înconjurătoare, cînd spre limita presupusă se recomandă probarea prin brazde cu lungime de circa 1 m, deoarece limita corpului se stabilește pe baza analizelor chimice.

În concluzie, pentru corpuri de substanțe minerale utile de dimensiuni mari se recomandă ca probele să aibă lungime cît mai mare, fără a se afecta caracterul reprezentativ, realizîndu-se un număr cît mai mic de analize chimice și deci implicit o probare cît mai economică, iar secționarea probelor se va face numai în cazul în care situația concretă impune acest lucru.

Prelevarea probelor prin brazde presupune trei operații principale: *pregătirea locului de probare, marcarea probelor* și *extragerea propriu-zisă*.

Pregătirea locului se impune pentru evitarea contaminării probei, deoarece, de regulă, probele se recoltează pe măsură ce se sapă lucrarea minieră și înainte de susținere. În cazul lucrărilor miniere, în urma exploziei de înaintare și după evacuarea materialului derocat, locul de probare prezintă două caracteristici care trebuie înlăturate, astfel: suprafața are o serie de neregularități (în special tavanul galeriei) și în același timp este acoperită cu praf care ar conduce la contaminarea materialului probă (deoarece praful provine din alte locuri decît cel de probare). Dacă s-ar proba o suprafață cu neregularități, lungimea probei ar fi mai mare decît grosimea corpului

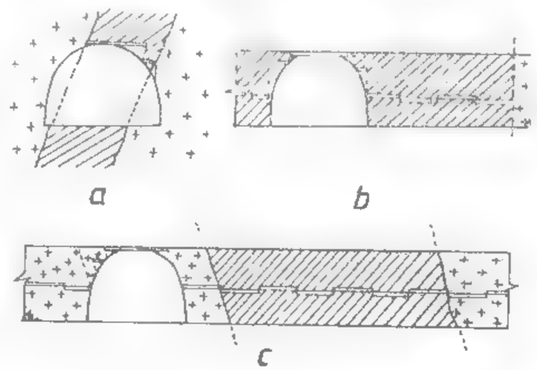


Fig. XII.1. Modul de pregătire a locului de prelevare a probelor în cazul galeriilor direcționale:

a – zăcăminte de grosime mică și înclinare mare; *b* – zăcăminte de grosime mare, cu limite verticale; *c* – zăcăminte de grosime mare cu limite înclinate.

ba mai mult, în cazul mineralizațiilor rubanate, în materialul probă s-ar introduce o cantitate mai mare decît cea reprezentativă. Pentru a evita o asemenea situație se urmărește ca suprafața de probare să fie cît mai plană, realizîndu-se acest lucru prin lucrări de nivelare (fără a se schimba locul de prelevare a probei), iar în cazul în care profilul galeriei este curbat se fac o serie de trepte ajutătoare (fig. XII.1), astfel încît proba să se recolteze tot după plane drepte.

În cazul în care se probează galerii vechi, locul de probare se curăță prin înlăturarea întregii cantități de mineralizație oxidată.

După nivelarea suprafeței de probare, pentru înlăturarea particulelor de praf se spală locul cu jet puternic de apă, după care se lasă să se usuce.

- *Marcarea brazdelor*, este cea de a doua operație ce urmează după uscarea locului deprobare și care se face cu vopsea, cu fum de la lampa cu carbid sau cu cretă, iar numărul probei se marchează întotdeauna cu vopsea, pentru a se menține cît mai mult (fig. XII.2). După susținerea porțiunii de galerie, numărul probei se marchează pe armături prin tăbliițe sau chiar direct cu vopsea pe armătura de lemn sau de beton.

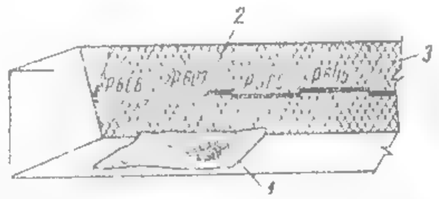


Fig. XII.2 Marcarea locului de prelevare a probelor și modul de așezare a prelatei pentru colectarea materialului probei în cazul probării manuale:

1 — prelată; *2* — nișă (galerie transversală scurtă); *3* — corp de substanță minerală utilă.

- *Extragerea propriu-zisă* a materialului probă se poate face manual sau mecanic.

În cazul în care prelevarea probei se face manual, sub locul de prelevare se așază o prelată curată pentru a se putea colecta tot materialul derocat și pentru a evita contaminarea probei (fig. XII.2). După recoltarea unei probe prelata se curăță bine pentru evitarea contaminării probei următoare.

Cînd prelevarea se face mecanizat, dispozitivul de recoltare este prevăzut cu anexe de recoltare a materialului probă direct în săculeț, dar cum în România nu s-au generalizat încă asemenea dispozitive, trebuie acordată o foarte mare atenție recoltării manuale.

Extragerea manuală a probei brazdă se face cu o serie de unelte, în funcție de tăria substanței minerale utile. Astfel, pentru mineralizații cu duritate mică se poate folosi toporul-teslă. Cînd duritatea este mai mare și foarte mare se folosește

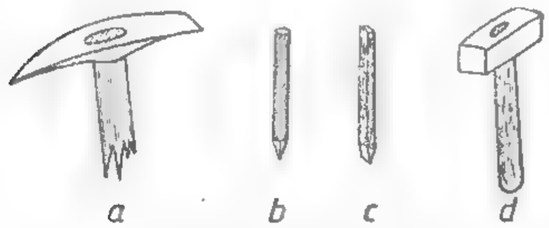


Fig. XII.3. Unelte pentru extragerea manuală a probelor brazdă:

a — topor teslă; *2* — țăncuș; *c* — daltă; *d* — fistăn

dalta, țăncușul (șpițul) și fistăul (fig. XII.3). Oțelul din care sînt confecționate aceste unelte trebuie să fie de calitate foarte bună. De aceea ele se confecționează, de regulă din capete rămase de la sfredelele de perforare a găurilor de mină.

Modul de prelevare a probei constă în realizarea unui șanț pe conturul marcat (fig. XII.4), șanț care se poate realiza cu uneltele menționate mai sus sau mecanizat prin tăiere cu discuri acționate hidraulic sau electric (în funcție de condițiile de lucru).

După realizarea șanțului de contur urmează extragerea propriu-zisă a probei care se face cu dalta, țîrcușul sau chiar cu toporul-teslă, în funcție de duritatea materialului care urmează a se proba.

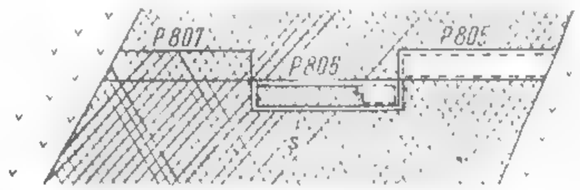


Fig. XII.4. Modul de extragere a probei brazdă:

S — sol; *P 805* — probă prelevată; *P 806* — probă în curs de prelevare; *P 807* — probă marcată pentru prelevare.

Înainte de începerea extragerii probei se fixează prelata cu suprafața de 2—3 m², în funcție de condițiile de lucru, astfel: în cazul galeriilor se poate așeza pe vatră cînd locul respectiv este uscat, sau ridicată pe o capră de lemn sau de metal, în cazul locurilor umede; aceleași situații se pot întîlni și în cazul coborîtorilor; în cazul suitorilor prelata se fixează pe poduri.

Se recomandă ca prelata să fie spălată și foarte bine curățată după recoltarea fiecărei probe, deși acest lucru presupune un număr mare de prelate care să fie folosite. Pentru evitarea acestui inconvenient, deasupra prelatei se poate așeza o folie de plastic, care se poate curăța foarte ușor; de asemenea, se pot utiliza prelate cauciucate sau confecționate din fibre sintetice, ce nu rețin în țesătură mineralele fine, care ar contamina proba următoare. Tot pentru a mări productivitatea probării se pot confecționa jgheaburi de tablă care au avantajul curățirii foarte rapide.

După dislocarea materialului probă din locul de probare, urmează trecerea acestuia în săculeți care au diferite dimensiuni, în funcție de volumul probei (15×20; 20×40 cm), care sînt confecționați din material rezistent. Pentru a putea fi folosiți cît mai mult timp și pentru a nu se contamina proba, s-a trecut la confecționarea de săculeți cu căptușeală din plastic sau chiar săculeți cauciucați. Săculeții obișnuiți (din țesătură de in, de bumbac sau de cînepă) după fiecare utilizare se spală bine și se usucă, după care se întorc pe partea cealaltă.

Fiecare probă este însoțită de *actul de identitate*, act care constă din două etichete ce trebuie să cuprindă: numărul probei, locul, data, numele și prenumele probatorului care a prelevat-o. Prima etichetă se pune în interiorul săculețului; dar cum de cele mai multe ori materialul probei este umed, pentru a se evita deteriorarea ei, eticheta se îmbracă în folii de plastic sau se pune în tuburi care oferă etanșeitatea. A doua etichetă poate fi din lemn sau din tablă și se atașează la sfoara cu care se leagă săculețul.

Legarea săculeților trebuie făcută cu foarte mare atenție, pentru a se evita risipirea materialului probă în timpul transportului din lucrarea minieră la suprafață și de la șantier la laboratorul de analize chimice. Ea se face prin două locuri: prima dată se strînge gura săculețului și se leagă, după care se răsucește porțiunea fără material și se mai leagă cu aceeași sfoară cît mai aproape de material.

Pentru mineralizații cu omogenitate mare, omogenitate verificată, se pot înlocui brazdele menționate mai sus prin *probarea punctiformă* care, în final, conduce tot la o excavație sub formă de brazdă.

Această metodă constă în desprinderea de bucăți de dimensiuni de pînă la 3—5 cm, una de lîngă alta, din corpul de substanță minerală utilă (fig. XII.5). Acest mod de prelevare nu necesită prelată sau dispozitiv de colectare, iar timpul de prelevare a unei probe se reduce simțitor.

Aplicarea metodei necesită o verificare prealabilă prin brazde obișnuite și, în funcție de rezultate, se poate trece la aplicarea ei și pentru alte porțiuni de zăcămînt.

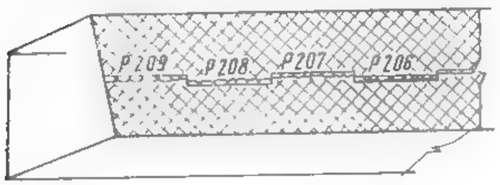


Fig. XII.5. Modul de dispunere a punctelor în probarea prin brazde punctiforme:
P 206... P 209 — probe brazdă punctiformă

Prelevarea manuală a probelor brazdă este o operație care necesită, în cazul substanței minerale utile cu duritate mare, un volum mare de muncă, deci un cost destul de ridicat și un volum mare de timp (operativitate scăzută), care are influență mare asupra procesului de explorare, prin faptul că dirijarea lucrărilor de explorare se face foarte încet, în special în cazul zăcămintelor diseminate.

În cazul mineralizațiilor cu duritate scăzută, prelevarea manuală dă rezultate foarte bune deoarece sporește gradul de reprezentativitate.

Pentru mineralizațiile cu duritate ridicată la care se aplică metoda brazdelor, s-a impus mecanizarea procesului de extragere a probei, în acest sens făcîndu-se o serie de încercări cu rezultate bune. Dintre dispozitivele utilizate se menționează:

— dispozitivul mecanic realizat în U.R.S.S. de Institutul Unional pentru Tehnica Explorării (V.I.T.R.), care constă din atașarea la ciocanul de abataj a unei piese în formă de „U" cu dinți de tăiere;

— dispozitivul de tăiere a șanțurilor de contur a probei cu discuri cu inserții de diamante, extragerea probei din interiorul conturului făcîndu-se tot manual;

— dispozitivele I.P. — 6401 și I.E. 6404 care au caracteristici asemănătoare cu cel de mai sus, primul fiind cu acționare pneumatică, iar cel de al doilea cu acționare electrică etc.

Dispozitivele menționate mai sus nu se aplică în România, lucru pentru care nici nu se va insista asupra descrierilor și a caracteristicilor tehnice.

În România s-au făcut și continuă să se facă o serie de eforturi pentru rezolvarea problemei. Astfel, un colectiv de la I.P.E.G. Suceava — Cîmpulung Moldovenesc a realizat un dispozitiv pentru prelevarea mecanizată a probelor brazdă, dispozitiv care se află în curs de omologare și brevetare ca invenție la O.S.I.M.

Probarea substanței minerale utile prin brazde răzuite. Această metodă de probare este o variantă a metodei brazdelor și are următoarele caracteristici:

— lățimea brazdelor este mai mare de circa 10—20 ori, iar adîncimea este cuprinsă între 5—10 cm;

— în cazul mineralizațiilor foarte neomogene răzuirea se face pe toată suprafața deschisă a zăcămîntului;

— masa excavată este mult mai mare;

— se aplică în cazul mineralizațiilor cu valoare economică mare (ex. mineralizații cu metale nobile și rare);

— se poate utiliza și în cazul controlului probării.

— are domeniu de aplicare destul de limitat, ca urmare a costului ridicat;

— se aplică în urma unei cercetări experimentale și cînd este mai avantajoasă decît metoda brazdelor obișnuite etc.

Asemănarea cu metoda brazdelor obișnuite este mare și constă în faptul că:

— extragerea probei se face prin aceleași metode, iar denumirea a fost dată în urma unei a suprafeței mari de recoltare;

— la prelevare se execută aceleași operații ca și în cazul brazdelor.

Rezultatele obținute sînt mult mai precise dacă se respectă toate condițiile metodologice de probare, iar pentru a se menține caracterul reprezentativ trebuie menținută adîncimea de probare constantă.

Metoda de probare prin răzuire se poate aplica la toate tipurile de lucrări miniere, la fel ca și metoda precedentă, cu unele caracteristici asupra cărora se va insista în capitolul următor.

Probarea substanței minerale utile prin metoda punctelor. În cazul acestei metode, proba constă în comasarea probelor parțiale care se iau din nodurile unei rețele de formă dreptunghiulară, pătratică sau rombică (fig. XII.6), rețeaua alegîndu-se în funcție de gradul de rubanare a mineralizației.

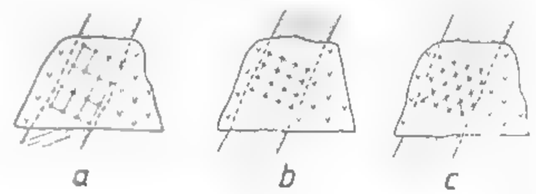


Fig. XII.6. Modul de repartiție a punctelor:
a — rețea dreptunghiulară; *b* — rețea pătratică; *c* — rețea rombică.

Metoda este operațională și cuprinde următoarele etape:

— pregătirea locului de probare, care se face la fel ca și în cazul metodei brazdelor;

— marcarea rețelei de probare cu cretă, vopsea sau fum de la lampa cu carbid;

— prelevarea probei, care se face în funcție de duritatea rocilor, cu țîncușul, ialta și fișăul în roci cu duritate mare, cu ciocanul geologic în cazul rocilor cu duritate mică, iar în ultimul timp prin găuri de mină;

— colectarea materialului din probele parțiale, material care este de 10—15 g, și comasarea lui în săculeți sau recipiente (pentru găurile de mină). Numărul de probe se stabilește prin încercări și comparînd rezultatele cu altă metodă (brazde sau brazde răzuite) pe aceeași suprafață de probare. Din practică se știe că cu cît numărul de probe parțiale este mai mare cu atît reprezentativitatea este mai bună și invers.

Metoda de probare prin puncte se poate aplica la toate corpurile cu mineralizații omogene: corpuri cu mineralizații masive — metasomatice, de impregnație sau cu variații mici ale mineralizației (este cazul mineralizațiilor de fier, mangan etc.), a corpurilor de cărbuni, roci utile etc.

Se recomandă în aplicarea rocilor cu duritate mare, deoarece este mult mai economică și mai operativă decît celelalte metode.

Probarea substanței minerale utile prin ștufe (eșantioane). Constă în prelevarea manuală sau mecanică a unor bucăți (eșantioane) de mineralizație, de masă cuprinsă între 0,5 și 2 kg. Proba poate fi constituită din una sau mai multe ștufe, în funcție de gradul de neuniformitate a componenților utili; în cazul mineralizației cu textură paralelă se ia cîte un eșantion din fiecare bandă mineralizată, în așa fel încît după prelevarea tuturor ștufelor să se obțină o probă reprezentativă.

Probele astfel recoltate pot fi cercetate sub mai multe aspecte, astfel: mineralogic petrografic, din punct de vedere al indicatorilor calitativi — pentru roci utile, chimic și chiar tehnologic în fază de laborator. Cînd se analizează chimic au mai mult un caracter informativ, de orientare a lucrărilor de cercetare; din acest motiv se aplică mai mult după ce ne-am convins de gradul de omogenitate (deci, dacă se poate aplica sau nu) prin alte metode de probare.

Aplicarea acestei metode este destul de limitată deoarece are un caracter subiectiv, conducînd în final la erori mari.

Probarea substanței minerale utile prin găuri de mină. În cadrul acestei metode intră, în special, găurile de mină care se execută în scopul înaintării lucrării miniere respective, iar dacă nu sînt asemenea situații se pot executa și găuri speciale.

Această metodă rezolvă o serie de probleme cum ar fi:

mecanizarea;

operativitatea,

economicitatea etc.

Materialul probă are o granulație fină, este uscat sau umed și reprezintă numai partea săpată în corpul de substanță minerală utilă și nu săpată și în roca sterilă.

Reprezentativitatea probării nu este întotdeauna îndeplinită, ca urmare a nerezolvării în totalitate a problemei captării materialului probă, ceea ce face să fie recomandată numai în cazuri complet argumentate.

Avantajele metodei sînt:

grad mare de reprezentativitate (ca urmare a păstrării aceleași dimensiuni în cazul găurii de mină) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă sau foarte omogenă,

dă posibilitatea detectării și conturării de corpuri de substanțe minerale utile neinterceptate de lucrări de explorare (fig. XII.7),

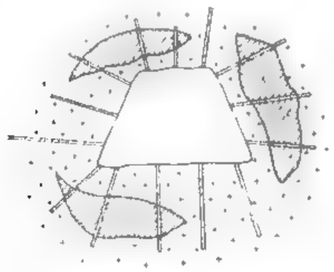


Fig. XII.7. Amplasarea găurilor de mină în vederea detectării a noi corpuri de substanță minerală utilă.

se poate face probarea concomitent cu săparea lucrării miniere, chiar și cînd se execută lucrări suplimentare;

materialul probă se prezintă gata sfărîmat, măcinat și omogenizat, nemai fiind nevoie decît de majorare înainte de efectuarea analizelor chimice;

gradul înalt de mecanizare conferă metodei o mare operativitate și implicit o mare economicitate

în cazul cînd se pune problema exploatării pilierilor de siguranță se poate face o probare pe toată grosimea lor etc.

Dezavantajele metodei

în cazul zăcămintelor de grosime medie sau mică obținerea probelor este destul de imprecisă, ca urmare a traversării atît a rocilor din acoperiș cît și a celor din culcușul corpului de substanță minerală utilă;

în situația rocilor fisurate sau cu cavități (geode) se pierde material probă,

în cazul corpurilor cu benzi de minerale friabile se poate introduce o eroare sistematică,

nu întotdeauna axa găurii de mină corespunde cu direcția de variație maximă a mineralizației, ceea ce conduce la scăderea caracterului reprezentativ etc.

Cu toate dezavantajele enumerate mai sus, totuși metoda se folosește, dar numai dacă fără a fi verificată pe o porțiune de zăcămînt care a fost probată și prin alte metode.

Proba în sine poate fi constituită din materialul prelevat de la o singură gaură de mină (probă elementară) sau din mai multe, pînă la toate găurile dintr-un ciclu de înaintare.

Probarea prin această metodă se face în găuri scurte (1,5—3 m) în cazul corpurilor sub formă de stock sau stockwerk (cazul cel mai avantajos de aplicare), corpuri de formă tabulară de diferite dimensiuni, sau prin găuri lungi de pînă la 100 m (probele în această situație se secționează în tronsoane de pînă la 2 m lungime) pentru

- corpuri lentiliforme,

filoane satelit,

apofizele corpului sub formă de stock sau stockwerk.

Pentru probarea zăcămintelor care se prezintă sub formă de volburi, stokuri impregnații, cu structură compactă, în România s-a brevetat ca invenție *„Dispozitivul de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină"* realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană (jud. Alba).

Dispozitivul (fig. XII.8) permite recoltarea de probe geologice continuu, din metru în metru, sub un unghi de 40° față de axa galeriei, lungimea găurii fiind de 1,30 m, iar caracterul continuu se realizează prin proiectarea probelor pe axul galeriei.

Modul de recoltare a probei geologice constă în perforarea unei găuri la locul de probare, în lungime de 15 cm, cu cap detașabil cu diametrul de 62 mm (fără recuperarea materialului), după care în gaura astfel formată se introduce tubul metalic 3, care se fixează, realizîndu-se o etanșeitate perfectă între acesta și pereții găurii de mină. Prin tubul metalic se introduce tija perforatorului prevăzută cu un cap detașabil cu diametrul de 45 mm. Pe porțiunea din tubul metalic rămasă în afara găurii de mină și pe tija perforatorului 7 se aplică camera de evacuare a noroiului 4, pusă în legătură printr-un furtun de cauciuc 5, cu vasul de colectare 6. Noroiul rezultat în urma perforării găurii de mină (material probă plus apă) este evacuat în vasul de colectare pînă la decantare totală, iar apoi prin eliminarea apei se obține materialul probă, care urmează să fie supus analizelor de laborator.

La o gaură de mină cu lungime de 1,00—1,30 m, în funcție de diametrul corpului detașabil și greutatea specifică a rocii mineralizate, în mod teoretic se obțin 3—5 kg de material; practic prin cîntăriri s-au obținut, la un recuperaj de 92%, probe cu greutăți de 2,90—4,10 kg.

Dintre avantajele acestui dispozitivde recoltat probe geologice se menționează

mecanizarea lucrărilor de probare geologică;

ușurința manevrării,

— adaptarea la orice fel de perforator;

utilizează același tip de energie care se folosește și la săparea lucrărilor miniere;
obținerea unui recuperaj bun (92%);
nu se produc pierderi privind conținutul în componenți utili;
are productivitate mare (3—4 m liniari pe post);
costul unei probe mecanice este de 4—5 ori mai mic decît al unei probe manuale.

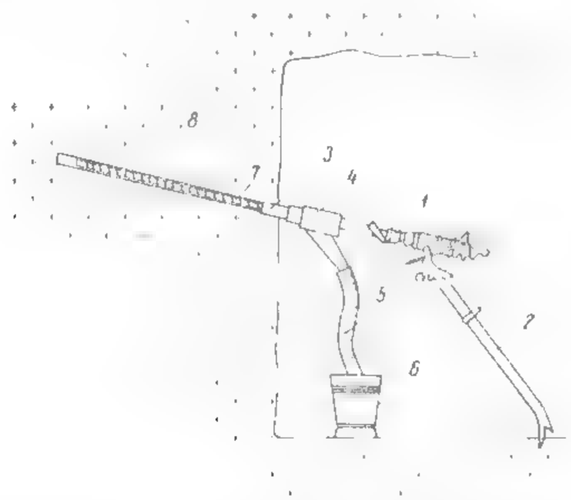


Fig. XII.8. Dispozitiv de recoltat probe geologice prin metoda găurilor de mină realizat de colectivul de geologi de la Roșia-Montană jud Alba):

1 — perforator; 2 — colonaă de susținere; 3 — tub metalic; 4 — cameră de evacuare a noroiului; 5 — furtun de cauciuc; 6 — vas de colectare; 7 — sfredel de perforare; 8 — front de galerie mineralizat

Utilizarea dispozitivului se face ori de cîte ori condițiile geologice impun acest lucru, și pentru a nu se introduce erori se fac încercări experimentale.

Metoda de probare globală. Se încadrează la metodele de probare pentru determinarea conținutului în componenți utili deoarece servește întotdeauna la determinarea acestora, desi se utilizează și în cazul metodelor pentru determinarea caracteristicilor tehnice și tehnologice.

Probele se prelevează în momentul săpării lucrărilor de explorare (galerii, suitori, puțuri de mină și șanțuri), iar cantitatea de material probă este formată fie din toată masa rezultată la săpare într-un ciclu de înaintare, fie numai din o parte din această masă. Cînd proba este constituită numai dintr-o parte de material excavat, aceasta se obține în timpul încărcării materialului în vagonete (la un anumit număr de lopeți se reține o lopată pentru probă) sau în timpul transportului (cînd la un anumit număr de vagonete cu material de haldare unul se reține pentru probă)

Pentru aplicarea metodei de probare globală, materialul excavat trebuie să aibă o anumită granulație, altfel se pot introduce erori sistematice.

Cînd rezultatele probării globale se folosesc la calculul rezervelor, probele se iau sistematic, în funcție de gradul de neuniformitate al mineralizației, astfel.

pentru mineralizații extrem de neuniforme probele se iau în mod continuu după fiecare ciclu de înaintare;

— în cazul mineralizațiilor neuniforme și foarte neuniforme probele se prelevează la un anumit număr de cicluri de înaintare (3—4 cicluri).

Avînd în vedere că masa probei este mare (zeci de tone) pentru prelucrare se pot întocmi scheme de reducere, dar trebuie avută mare grijă pentru păstrarea caracterului reprezentativ al probării.

Avantajele metodei constau în faptul că rezultatele au o precizie mare și că probarea nu influențează negativ ciclograma de înaintare a lucrării miniere.

Dezavantajele rezultă din cheltuielile ridicate de transport și prelucrare și din imposibilitatea evitării includerii în probă a rocilor din acoperiș și culcuș.

Domeniul de aplicare al metodei este destul de mare, astfel

în cazul corpurilor de substanțe minerale utile tabulare cu grosime mai mică de 2 m se pot lua probe la fiecare ciclu de înaintare sau discontinuu, la anumită echidistanță,

în cazul corpurilor tabulare cu grosime mare probele se prelevează continuu (la fiecare ciclu de înaintare) din nișele de explorare;

— în cazul corpurilor de alte forme probele se prelevează continuu sau discontinuu (după gradul de uniformitate a componenților utili), dar numai din lucrările care explorează zăcămîntul.

În concluzie, aplicarea uneia sau alteia dintre metodele de probare în lucrări miniere trebuie făcută cu mult discernămînt și se recomandă ca în prima fază a explorării geologice, pe o porțiune reprezentativă din zăcămînt (cunoscută din prospecțiune) să se experimenteze una sau mai multe metode, urmînd a se aplica metoda care îndeplinește cel mai bine condițiile unei probări corecte. La aplicarea metodologiei de probare prezentată mai sus trebuie să se țină seama de condițiile de zăcămînt și de gradul de mecanizare de care se dispune la momentul respectiv.

2.3. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNICE

Acest mod de probare se aplică pentru determinarea
- masei volumetrice;
- umidității;
  coeficientul de afînare;
  tăriei rocilor.
- coeficientului de rupere la împușcare
  rezistenței la compresiune, la șoc mecanic, la forfecare etc.

Probarea în vederea stabilirii masei volumetrice. Se efectuează pe sorturi industriale de substanță minerală utilă, care se pot exploata separat sau în cadrul aceluiasi sort, cînd apar variații mari ale compoziției mineralogice (deci și variații ale masei volumetrice).

Masa volumetrică este un parametru principal de calcul al rezervelor de substanțe minerale utile și, indiferent de metoda de probare și de procedeul de determinare trebuie să exprime masa unității de volum în condițiile de zăcămînt.

Pentru determinarea masei volumetrice se folosește *metoda globală* sau *metoda șantionării* (eșantioanele avînd forme geometrice executate în condiții speciale).

În cazul metodei globale excavațiile executate prin împușcare se rectifică la o formă cît mai geometrică (pentru determinarea volumului golului excavat). Prin cîntărirea masei obținute și prin raportarea acesteia la volumul excavației se obține masa volumetrică în punctul de probare. Avînd în vedere faptul că executarea unei asemenea excavații este destul de costisitoare, determinarea masei volumetrice se face pe proba globală recoltată pentru determinarea caracteristicilor chimice, iar pentru obținerea unei valori medii cît mai apropiate de cea reală, se recomandă ca probele globale să fie cît mai uniform distribuite pe unitatea de calcul a rezervei.

Cînd mineralizația are mai puține goluri, iar acestea nu au o influență deosebită asupra determinării masei volumetrice, proba se ia sub forma unei excavații de formă cubică sau prismatică. Dacă roca mineralizată sau chiar mineralizația are tărie mare, excavația se poate face cu explozivi și pe urmă se aduce la forma cerută, cu dalta și ciocanul. În cazul rocilor plastice substanța minerală utilă se extrage sub formă de monolit de formă dreptunghiulară, cu latura mare perpendiculară pe stratifiație. Volumul prismei se determină prin măsurarea dimensiunilor cu ruleta, iar masa prin cîntărire.

În condiții de laborator, masa volumetrică se determină (folosind aparatura din dotare) pe eșantioane provenite prin metodele de probare menționate, cu condiția păstrării reprezentativității probei. Eșantioanele cu pori mari sau chiar fisuri, după întărire se parafinează pentru determinarea mai exactă a volumului.

Cînd substanța minerală utilă este foarte compactă (deci masa volumetrică este apropiată de densitate), se poate folosi la determinări *picnometrul* (cantitatea necesară fiind de 1—2 g), materialul pentru determinări putînd proveni din proba duplicat de la analizele chimice.

În vederea ridicării productivității și a măririi eficienței economice, probele pentru determinarea caracteristicilor tehnice se pot analiza în vederea stabilirii umidității, permeabilității, capacității de absorbție etc.

Pentru mineralizațiile metalifere se recomandă să se stabilească masa volumetrică și în funcție de conținutul în componenți utili, luîndu-se în considerare corelația care există între acești parametri.

Probarea în vederea determinării umidității. Determinarea umidității se impune în cazul calculului de rezerve cînd aceasta influențează masa volumetrică și conținutul în componenți utili, care trebuie determinați pe probe uscate. Corecțiile trebuie făcute cînd umiditatea este accentuată.

Pentru determinarea umidității se iau probe răspîndite cît mai omogen pe unitatea de calcul a rezervei, iar pentru determinarea cît mai reprezentativă se recomandă ca acestea să se facă imediat după prelevarea probei.

Materialul probă provenit din prelevarea probelor obișnuite (prin metodele menționate mai sus) pentru determinarea caracteristicilor chimice se cîntărește la umiditatea din zăcămînt, se sfărîmă pînă la dimensiuni de 10—20 mm, după care se usucă la o temperatură de 105°C pentru eliminarea apei și se cîntărește din nou, iar umiditatea (u) se determină cu formula

$$u = \frac{m_z - m_u}{m_z} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: m_z este masa materialului probă din zăcămînt

m_u — masa materialului probă după uscare.

Umiditatea medie $\bar{u}$ se calculează prin media ponderată cu formula:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i \cdot m_{zi}}{\sum_{i=1}^{n} m_{zi}} \quad [\%]$$

în care: u_i este umiditatea probei i;

m_{zi} — masa probei i din zăcămînt;

n — numărul de probe care se iau în considerare.

Probarea pentru stabilirea coeficientului de afînare. Coeficientul de afînare (k_a) se determină pentru dimensionarea mijloacelor de transport, ca urmare a faptului că substanța minerală utilă extrasă are un volum mai mare decît aceeași masă în situ.

Determinarea coeficientului de afînare se face pe un număr de probe globale, probe la care se poate stabili volumul excavației din care s-a recoltat proba (V_{ex}) și volumul probei extrase (V_e), volum ce se poate stabili cu un vas de transport a cărui capacitate este cunoscută. Pentru determinarea coeficientului de afînare se folosește relația:

$$k_a = \frac{V_{ex}}{V_e}$$

Pentru determinarea coeficientului de afînare se pot folosi probele globale recoltate pentru determinarea caracteristicilor chimice.

Pentru determinarea caracteristicilor tehnice ale substanțelor minerale utile cu diferite utilizări în economie (asbest, talc, mică, materiale de construcție etc.), se prelevează probe și se fac determinări în funcție de standardele de stat în vigoare.

2.4. PROBAREA PENTRU DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TEHNOLOGICE

Cunoașterea posibilității de valorificare optimă a substanțelor minerale utile, în condițiile tehnico-economice existente la o anumită etapă, se impune încă din prima fază a cercetării geologice (prospecțiunea), iar pe măsură ce cercetarea se adîncește crește și ponderea acestei cunoașteri pînă în faza de exploatare.

Indiferent dacă substanța minerală utilă este valorificabilă în condiții avantajoase sau nu în momentul respectiv, pentru conturarea industrială trebuie să se cunoască caracteristicile tehnologice ale acesteia.

Cercetările pentru determinarea caracteristicilor tehnologice trebuie efectuate după fiecare etapă a explorării (explorare preliminară și de detaliu), chiar dacă probele tehnologice din prospecțiune nu sînt destul de reprezentative, dat fiind faptul că s-ar putea să apară schimbări a caracteristicilor mineralizației pe anumite sectoare.

Pentru determinarea posibilității de valorificare a unei substanțe minerale utile se recoltează probe tehnologice, care se deosebesc de probele pentru determinarea

caracteristicilor chimice prin: mod de prelevare, metoda de studiu și modul de utilizare a rezultatelor.

Probarea tehnologică are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs minier cu valorificare optimă și stabilirea unor parametri necesari pentru întocmirea proiectului de exploatare.

În funcție de etapa de cercetare geologică, modul de recoltare, instalațiile ce se studiază și obiectivele urmărite, probele tehnologice pentru stabilirea posibilităților de preparare se împart în

a) *Probe pentru faza de laborator*, care au o cantitate cuprinsă între [illegible] kg, se recoltează în prospecțiune și explorarea preliminară, se analizează în laborator și ne dau informații privind

caracteristicile calitative medii ale probei
— caracteristicile mineralizației (asociație de minerale și concreșteri)
— metodele de preparare
— fluxul tehnologic informativ
— parametrii informativi privind extracția în componenți utili

b) *Probe pentru faza pilot*, care au o greutate de 10—100 t, se analizează în instalație pilot (2—12 t/zi) în timpul explorării preliminare și de detaliu, obținându-se informații cu privire la

caracteristicile calitative medii ale probei;
caracterizarea mineralizației (asociații mineralogice și concreșteri)
flux tehnologic de preparare
grad de sfărîmare;
sorturi de concentrate;
extracția în greutate;
extracția în componenți utili.
consumul de reactivi.

c) *Probe pentru faza semiindustrială*, care au o greutate între 500 și 1 500 t, sînt analizate în instalația semiindustrială (20—40 t/zi), numai în faza de explorare de detaliu și ne dau informații cu privire la

caracteristicile calitative medii ale probei;
fluxul tehnologic de preparare optim;
gradul de sfărîmare;
sorturile de concentrate;
calitatea concentratelor;
extracția în greutate.
extracția în componenți utili.
consumurile specifice de energie, materiale și reactivi.

d) *Probe pentru faza industrială (microproducție)*, care au o masă mai mare de 1 500 t, sînt prelucrate în instalație în funcțiune (peste 125 t/zi), se recoltează în fazele de explorare de detaliu și de exploatare, avînd ca scop verificarea și îmbunătățirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracție.

Probele tehnologice se recoltează dintr-un număr limitat de puncte de mineralizație, în comparație cu probele geologice pentru determinarea caracteristicilor chimice care se recoltează sistematic din toată mineralizația.

Uneori pentru probele din faza de laborator și chiar pilot se poate folosi materialul rămas prin reducerea probelor chimice sau din carotele de la foraje.

Prelevarea probelor se face respectînd condițiile în care se află mineralizația (fără diluție), în special pentru faza de laborator și faza pilot, sau în condițiile viitoarei

exploatări (admițînd o diluție corespunzătoare tipului de mineralizație și metodele de exploatare preconizate) pentru faza semiindustrială și obligat pentru faza industrială.

Cantitatea de material probă și locul propus trebuie să fie corespunzătoare scopului.

Dacă cantitatea de material este mai mare decît necesarul de material corespunzător fazei de încercări tehnologice, se poate trece la reducerea materialului, după ce ne-am asigurat de reprezentativitatea maximă.

Pentru probele semiindustriale și industriale se transportă întreaga cantitate prelevată din mineralizație.

După prelevare, conform proiectului, se va efectua o probare chimică, atît a locului de prelevare cît și a materialului abatat (extras).

De regulă, probele tehnologice se prelevează din lucrările de explorare care traversează corpul mineralizat, după direcția de variație maximă a conținutului în componenți utili.

Înainte de operația propriu-zisă de prelevare a probei se marchează locul, marcajul care trebuie să rămînă și după ce s-a recoltat proba, iar locul respectiv se curăță și se nivelează cît mai bine posibil.

Dintre metodele utilizate pentru probarea tehnologică menționăm

brazde pentru probările chimice;
metoda brazdelor răzuite;
brazde obținute prin împușcarea pereților laterali sau a tavanului.
folosirea întregului material dintr-o lucrare care explorează zăcămîntul
utilizarea materialului din abataje experimentale sau semiproducție, proiectate pentru verificarea parametrilor de explorare.

La recoltarea probelor tehnologice se are în vedere ca locul de prelevare să fie ferit de infiltrații care, printr-o antrenare de minerale din alt loc decît cel de probare, ar denatura conținutul; de asemenea, se exclud intercalațiile sterile care se pot separa în procesul exploatării.

Pentru depozitarea probei tehnologice se iau o serie de măsuri cum ar fi

marcarea locului de depozitare;
evitarea contaminării probei;
evitarea posibilităților de alterare a probei printr-o sincronizare între depozitare și transport
evitarea depozitării probei (pe cît posibil) în subteran.
pentru probele pilot, semiindustriale sau industriale se recomandă amenajarea locului înainte de depozitare (de regulă se construiesc platforme).

Transportul probelor la instalația de prelucrare presupune, și el, anumite măsuri cum ar fi:

- probele în cantități mici (faza laborator) nu pun probleme mari de transport iar cu toate acestea se evită contaminarea;
probele în cantități mari presupun respectarea cu strictețe a masurilor prevăzute în proiectul de recoltare a probelor;
la transportul în subteran se vor evita rostogoalele prin care se scurge apa, iar pentru cele uscate se face o curățire perfectă de materialul rămas de la transporturile anterioare; vagonetele de transport se curăță și ele foarte bine
- se evită transportul probelor tehnologice pe distanțe mari în mijloace de transport descoperite, în timpul iernilor, anotimpurilor ploioase etc.
- pe distanțe scurte se recomandă a se folosi mai mult transportul auto, pentru a evita încărcările și descărcările pe calea ferată;
în cazul transportului auto se curăță foarte bine autocamioanele (platformele), se verifică etanșeitatea, iar în timpul ploilor minereul se acoperă cu prelate;

transportul conteinerizat este de preferat deoarece în acest mod se evită pierderile și impurificările

orice transport trebuie să fie **însoțit** de o *foaie de transport*, care cuprinde: proveniența probei, locul unde a fost încărcată (galerie, rampă, siloz etc.), cantitatea încărcată, iar foaia trebuie semnată de cei care au predat proba și au asistat la încărcarea și de primitorul probei la destinație. Foile de transport se anexează la *pașaportul probei* (actul de identitate care însoțește orice probă tehnologică) care cuprinde:

felul probei și faza de cercetare;
denumirea zăcămîntului;
sortul de substanță minerală utilă;
locul de prelevare (cît mai detaliat prezentat);
— modul de recoltare;
— cantitatea de material recoltat de la probare;
— modul de reducere a probei (dacă este cazul);
prezentarea scurtă a zonei și a locului de recoltare (se anexează o schiță geologică a planului de orizont cu locul de prelevare, pe care se trec și probele chimice din documentația cu calculul de rezerve);
un plan de situație cu probele chimice recoltate ulterior probei tehnologice;
- modul de depozitare și transport;
precizarea modificărilor la proiectul de recoltare a probelor (dacă este cazul);
observații deosebite și unele recomandări privind studierea probelor.

Documentul care însoțește proba trebuie semnat de următoarele persoane:
geologul care a urmărit recoltarea probei tehnologice;
inginerul care a răspuns de executarea lucrărilor;
conducătorul șantierului.

Rezultatele probelor tehnologice se utilizează la următoarele documentații:
studii de condiții industriale;
proiecte geologice și studii de etapă;
- documentații de evaluare a rezervelor;
studii tehnico-economice de valorificare.

3. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU LUCRĂRI MINIERE

3.1. PROBAREA ÎN ȘANȚURI ȘI TRANȘEE DE EXPLORARE

Ca regulă generală, la probarea substanței minerale utile în șanțuri și tranșee se are în vedere ca locurile de probare să se aleagă întotdeauna pe pereții șanțului sau tranșeei și numai în cazuri cu totul excepționale (cînd mineralizația apare numai în vatră) se admite alegerea locului de probare și în vatră. Nu se admite amplasarea locu-

lui de prelevare a probelor în vatră deoarece există pericolul de contaminare (care este foarte mare).

Cînd se aplică *metoda brazdelor* se urmărește ca brazdele să fie orientate (pe cît posibil) după direcția de măsurare a grosimii normale (fig. XII.9, *a*), iar cînd aceasta nu se încadrează pe unul din pereții șanțului, probele se amplasează orizontal (după grosimea orizontală; fig. XII.9, *b*).

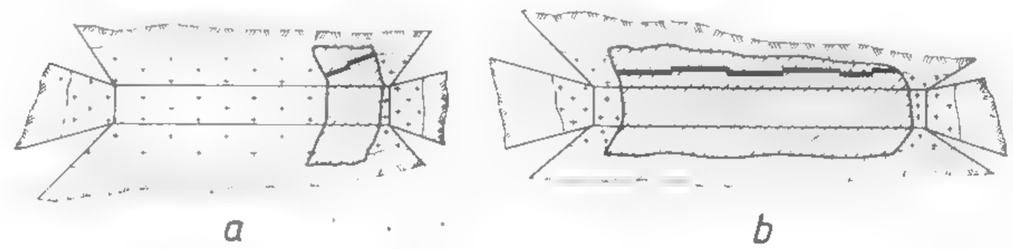


Fig. XII.9. Amplasarea probelor brazdă pe unul din pereții șanțului.

În situațiile în care probele brazdă trebuie să fie amplasate în vatra șanțului sau tranșeei, se iau toate măsurile pentru nu diminua caracterul reprezentativ, iar probele se amplasează după grosimea aparentă orizontală, direcția axei mari a brazdelor fiind paralelă cu axa mare a șanțului (fig. II.10, *a*). Asemenea situații pot să apară cînd din motive tehnice nu s-a putut săpa șanțul adînc, grosimea depozitelor acoperitoare fiind mai mare de 4 m sau din cauza mijloacelor tehnice de execuție.

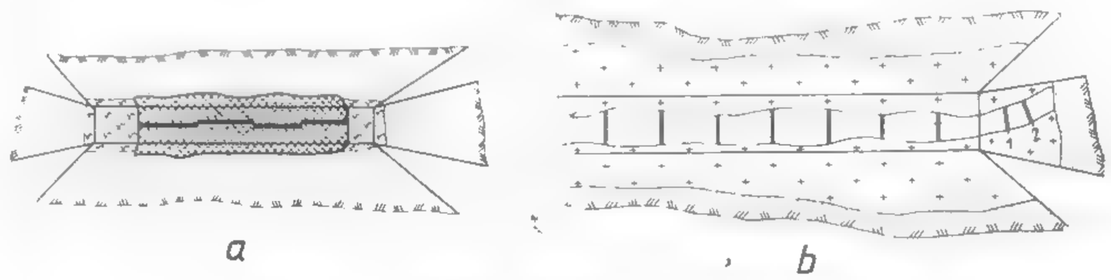


Fig. XII.10. Amplasarea probelor brazdă în vatra și în frontul șanțului.

Pentru situațiile în care șanțul sau tranșeea urmărește corpul de substanțe minerale utile (zăcăminte filoniene de grosime mică), probele brazdă se recoltează tot din vatra șanțului, dar axa mare a probei este perpendiculară pe direcția axei mari a șanțului (fig. XII.10, *b*). În asemenea situații probele se mai pot preleva și din frontul șanțului sau tranșeei, atît după grosimea orizontală cît și după grosimea normală (fig. XII.11).

În cazul zăcămintelor filoniene cu intercalații sterile, brazdele pot să includă și aceste intercalații (fig. XII.11, *a*) — cînd grosimea intercalației nu permite evitarea ei în procesul exploatării, sau să nu le includă (fig. XII. 11, *b*) — cînd se pot separa în exploatare. Pentru situația în care intercalația dintre părțile compacte este și ea

mineralizată, se probează separat partea compactă și separat partea de impregnație (fig. XII. 11, *c*)

Amplasarea probelor se poate face pe grosimea normală, pe grosimea orizontală sau pe grosimea aparentă, după cum ne situăm în unul din cazurile menționate mai sus.

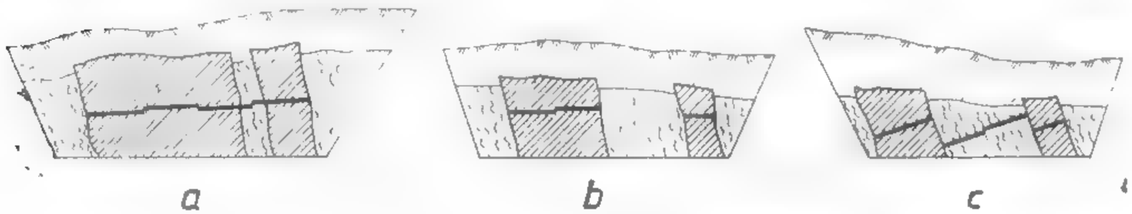


Fig. XII.11. Probarea corpului de substanță minerală utilă în peretele șanțului sau tranșeii în cazul prezenței intercalațiilor de rocă sterilă

În cazul zăcămintelor de tip stockwerk, unde corpul nu are o limită netă cu roca înconjurătoare, probele se iau de regulă cu lungime egală (l [illegible] m), pentru ca în urma analizelor chimice să se poată stabili limita corpului ca interes economic. În asemenea cazuri probele se prelevează [illegible] toată porțiunea pe care se întinde alteracția hidrotermală (fig. XII.12).

Fig. XII.12. Modul de prelevare a probelor în cazul unui zăcământ fără limite nete cu roca înconjurătoare:

l_g — limită geologică presupusă; l_c — limită de contabilitate industrială

Metoda *brazdelor prin răzuire* se pe[illegible] aplica și la cazul șanțurilor, în funcție de forma corpului de substanță minerală [illegible]lă, după cum urmează:

în cazul corpurilor de grosime mai [illegible] și înclinare mare, mineralizație neomogenă sau foarte neomogenă, brazdele se iau după grosimea orizontală, din peretele șanțului,

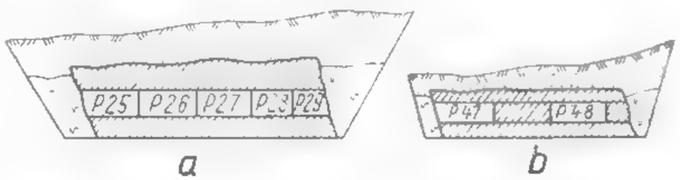


Fig. XII.13. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcământ filonian de grosime mare

continuu (fig. XII.13, *a*), având lungimea de 1 m, iar spre limitele zăcământului se respectă regula de la pag. 311 și numai în cazuri cu totul excepționale se prelevează probe din vatra șanțului.

Cînd mineralizația este omogenă se pot preleva brazde discontinui (fig. XII.13, *b*);

pentru corpurile de grosime mică (< 1 m), cu înclinare mare, brazdele se prelevează din vatra șanțului, lungimea unei brazde fiind de 1 m, iar lățimea va fi egală cu grosimea filonului. Dacă mineralizația este foarte neuniformă, probele se iau în mod continu (fig. XII.14, *a*), iar dacă este neuniformă probele brazde se pot recolta și discontinu (fig. XII.14, *b*);

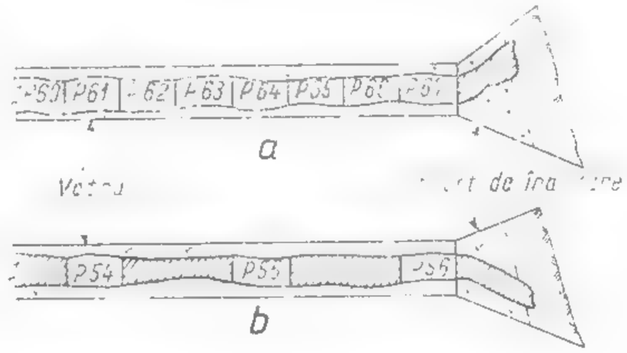


Fig. XII.14. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire în cazul unui zăcământ filonian de grosime mică.

pentru corpurile de mineralizații de tip stockwerk se aplică aceeași metodologie ca în cazul corpurilor de grosime mare, cu mențiunea că în zona limitei brazdele se iau continuu, pentru a se preciza limita industrială, deși este mai indicat ca limita industrială să se stabilească cu brazde obișnuite.

În cazul *metodei punctelor*, probele parțiale se amplasează pe unul din pereții șanțului sau tranșeei, sau chiar pe vatră. Metoda punctelor este recomandată [illegible] se aplica în cazul în care sîntem nevoiți să probăm substanța minerală utilă în [illegible]tă, deoarece prin acest mod de probare pericolul de cootaminare a probelor este [illegible] mai scăzut.

3.2. PROBAREA ÎN PUȚURI DE MÎNĂ, PUȚURI DE EXPLORARE, SUITORI ȘI COBORÎTORI

Probarea în puțuri de mină și puțuri de explorare. În cazul folosirii puțurilor în explorarea corpurilor de substanțe minerale utile, probele se recoltează, de regulă, din pereții puțului (de pe un singur perete sau de pe doi pereți opuși, în funcție de gradul de variație a componenților utili).

Metoda brazdelor este o metodă des folosită în cazul puțurilor, brazdele urmînd a se preleva după grosimea normală sau grosimea verticală (fig. XII.15).

În cazul în care [illegible] intercalații sterile [illegible] partea compactă, acestea pot fi incluse în sistemul de probe [illegible] fig. XII.1[illegible] [illegible] cînd se pot separa în procesul

explorării fig. XII.16, *b*) sau se vor proba separat (în cazul în care și aceste roci conțin componenți utili, fig. XII.16, *c*).

Pentru corpurile de dimensiuni mari puțurile se probează pe unul din pereți, iar probele au lungime de 1 m. În situația în care nu se sesizează o limită netă între zona mineralizată și roca înconjurătoare, probele trebuie să aibă obligatoriu lungime de 1 m, pentru ca separarea dintre cele două zone să se facă pe baza analizelor chimice.

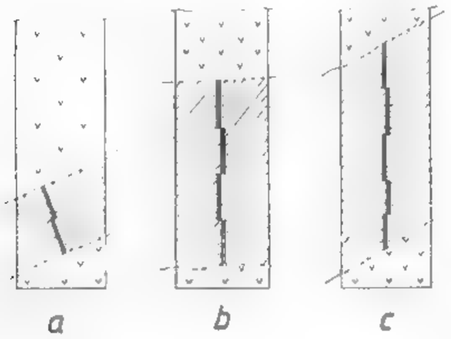


Fig. XII.15. Amplasarea brazdelor pe peretele puțului în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară (filon, strat etc.):

a — brazde amplasate după grosimea normală în cazul unui corp înclinat de grosime mică; *b* — brazde amplasate după grosimea normală, în cazul unui corp orizontal de grosime mare; *c* — brazde amplasate după grosimea aparentă verticală, în cazul unui corp înclinat de grosime mare.

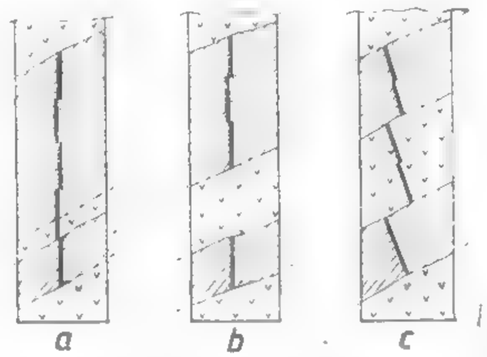


Fig. XII.16. Probarea corpurilor de substanță minerală utilă cu intercalații de steril în puțuri.

În caz cu totul excepțional (deoarece asemenea corpuri nu se explorează cu puțuri) brazdele se pot amplasa orizontal, cînd este vorba de explorarea corpurilor de formă tabulară, grosime mică (< 2 m) înclinare mare sau verticale.

Pentru corpurile care conțin mineralizație uniformă și foarte neuniformă, din puțuri se pot recolta probe *brazde punctiforme*.

Metoda brazdelor prin răzuire se poate aplica și în cazul puțurilor, iar în funcție de gradul de neuniformitate a mineralizației, acestea se pot recolta în mod continuu sau discontinuu (fig. XII.17). Procedeul de probare are mare aplicabilitate în cazul zăcămintelor reziduale.

Și în cazul puțurilor se poate aplica cu succes *metoda punctelor*, probele elementare putînd fi amplasate după grosimea normală (fig. XII. 18, *a*) sau după grosimea aparentă verticală (fig. XII.18, *b*), după cum grosimea normală se încadrează sau nu în peretele puțului.

Probarea în suitori și coborîtori. Cînd la explorarea corpurilor de substanțe minerale utile se utilizează suitori și coborîtori, acestea se probează pe unul din pereți sau pe doi pereți opuși, după cum mineralizația are un grad mare sau mai mic de omogenitate.

Avînd în vedere că nu există diferențe între probarea unei suitori și a unei coborîtori, se va trata numai probarea în cazul suitorilor, aceasta făcîndu-se cel mai frecvent prin cele trei metode: brazde, brazde prin răzuire și metoda punctelor.

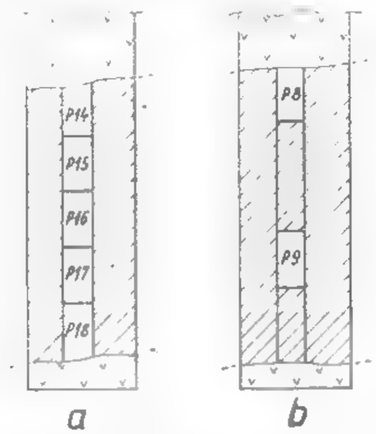


Fig. XII.17. Amplasarea probelor brazdă prin răzuire pe peretele puțului:

a — mineralizație foarte neuniformă; *b* — mineralizație neuniformă.

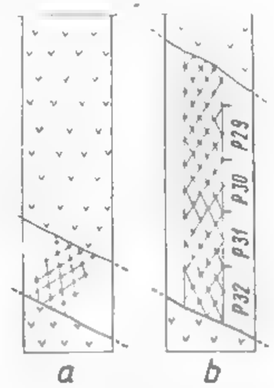
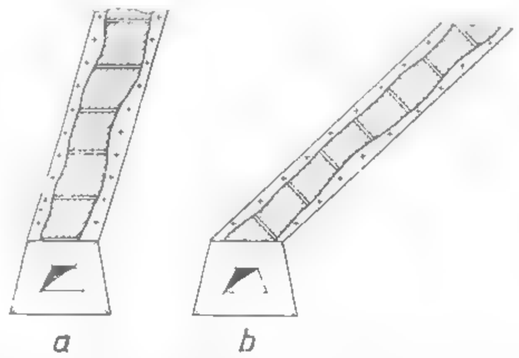


Fig. XII.18. Amplasarea probelor parțiale pe peretele puțului, în cazul aplicării metodei punctelor.

Metoda brazdelor se aplică în cazul corpurilor tabulare de grosime mică (< 2 m) și înclinare medie sau mare.

La asemenea tipuri de zăcăminte brazdele se iau după grosimea normală, pentru corpurile cu înclinare medie (fig. XII.19, *b*) și după grosimea orizontală la corpurile cu înclinare mare sau verticale (fig. XII.19, *a*).

Fig. XII.19. Amplasarea probelor brazdă pe peretele unei suitori, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, grosime mică și înclinare mare sau medie.



În cazul corpurilor tabulare de grosime mare (> 2 m) sau în cazul în care suitorile fac legătura între orizonturi, la zăcămintele în formă de stok sau stockwerk (suitorile care explorează mineralizația) probele se amplasează după înclinarea suitorii (fig. XII.20).

Metoda brazdelor prin răzuire se aplică și în cazul explorării cu suitori a corpurilor de formă tabulară, de grosime medie și mare. Și în acest caz pot să apară două situații, astfel: dacă mineralizația este foarte neuniformă brazdele prin răzuire se iau în mod continuu (fig. XII.21, *a*), iar dacă mineralizația este neuniformă brazdele prin răzuire se pot prelevа discontinuu (fig. XII.21, *b*).

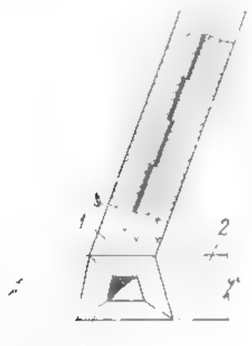


Fig. XII.20. Modul de Amplasarea probelor în peretele suitorii care explorează un zăcămînt de grosime mare:

1 — suitoare; 2 — peretele galeriei transversale; 3 — galerie direcțională.

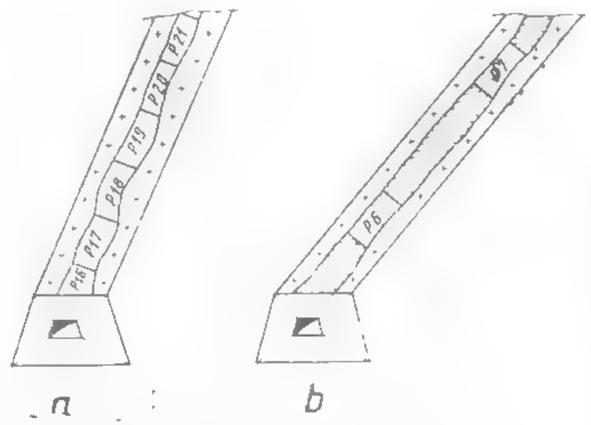


Fig. XII.21. Modul de prelevare a probelor brazdă prin răzuire în peretele suitorii.

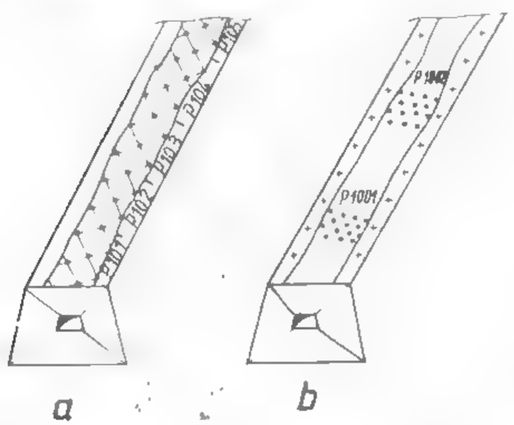


Fig. XII.22. Amplasarea probelor în peretele suitorii, în cazul metodei punctelor:

a — probare continuă; *b* — probare discontinuă

Metoda punctelor se aplică și în cazul suitorilor și coborîtorilor, cu mențiunea că probele elementare se pot recolta continuu sau discontinuu, în funcție de particularitățile mineralizației (fig. XII.22).

3.3. PROBAREA ÎN GALERII ȘI PLANE ÎNCLINATE

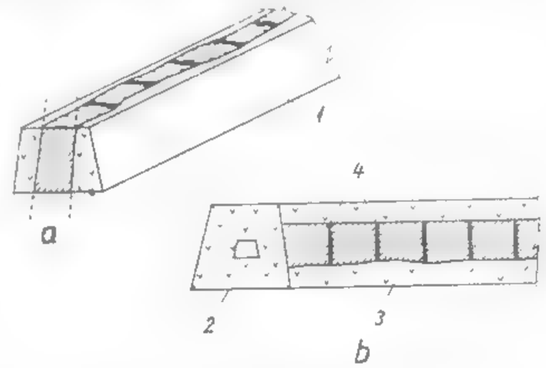
Probarea substanțelor minerale utile în *plane înclinate* este asemănătoare cu probarea în *galerii*, de la care au fost tratate cele mai frecvente metode utilizate pentru galeriile de explorare.

Metoda brazdelor se aplică în funcție de tipul de galerie (direcțională sau transversală) și de poziția spațială a corpului de substanță minerală utilă cunoscut din prospecțiune.

În cazul zăcămintelor de grosime mică probele brazdă se amplasează în funcție de înclinarea corpului, astfel: la corpurile cu înclinare mare și medie probele se prelevează din tavanul galeriei direcționale, după grosimea orizontală, brazdele fiind distanțate la 1 m una de alta (fig. XII.23, *a*); la corpurile de grosime mică și înclinare mică sau orizontale, explorate cu galerii direcționale și plane înclinate, probele se prelevează de pe pereții galeriei, după grosimea verticală (fig. XII.23, *b*).

Fig. XII.23. Amplasarea probelor brazdă în cazul explorării prin galerii sau plane înclinate a unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mică (<2m):

a — corp cu înclinare mare, *b* — corp cu înclinare mică sau orizontal; 1 — galerie direcțională; 2 — galerie transversală, 3 — pereții galeriei direcționale, 4 — probe brazdă



Tot în cazul corpurilor de grosime mică, brazdele se pot amplasa și în frontul de înaintare a galeriei sau a planului înclinat (fig. XII.24), avînd în vedere prelevarea mai ușoară a probei, dar trebuie subliniate două mari dezavantaje ale acestui mod de probare, cum ar fi: includerea probării în ciclograma de înaintare a lucrării respective, deci creșterea timpului de înaintare și imposibilitatea repetării probării.

Fig. XII.24. Amplasarea brazdelor în frontul galeriei sau a planului înclinat:

a — corp cu înclinare mare; *b* — corp cu înclinare medie, *c* — corp cu înclinare mică

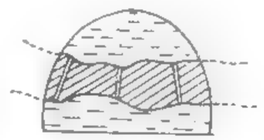


Fig. XII.25. Probarea în frontul galeriei sau a planului înclinat, în cazul unui zăcămînt cu variații mari de grosime și a mineralizației

Dacă se observă variații mari ale mineralizației atît pe verticală cît și pe orizontală, atunci din frontul galeriei se pot preleva două sau mai multe probe, urmînd ca în final să se facă media conținuturilor (fig. XII.25).

În cazul corpurilor de grosime mare și înclinare medie sau mare, explorate cu nișe, probele se iau orizontal pe unul sau doi pereți (fig. XII.26, *a*), iar în cazul în care apar intercalații sterile se aplică aceleași principii ca la șanțuri, puțuri de mînă, suitori și coborîtori, adică intercalația sterilă se probează (fig. XII.26, *b*), se exclude (fig. XII.26, *c*) sau se probează separat, cînd și aceasta conține minerale utile (fig. XII.26, *d*).

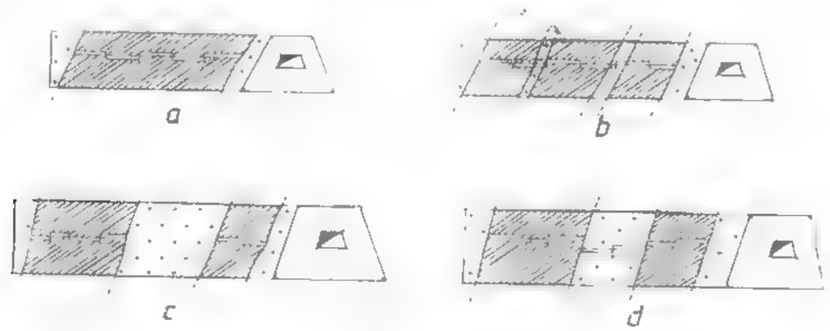


Fig. XII.26. Probarea prin brazde în peretele unei nișe sau galerii transversale, în cazul corpurilor de substanțe minerale utile de grosime mare și înclinare mare sau medie.

Există și situații cînd o galerie de acces traversează corpul de substanță minerală utilă (zăcămînt tabular cu înclinare mică și tectonizat), deși corpul se explorează cu lucrări verticale. În acest caz probarea în porțiunea respectivă trebuie făcută astfel încît probele să fie comparabile cu cele din lucrările verticale (foraje) (fig. XII.27). Acest mod de probare apare cu totul întîmplător.

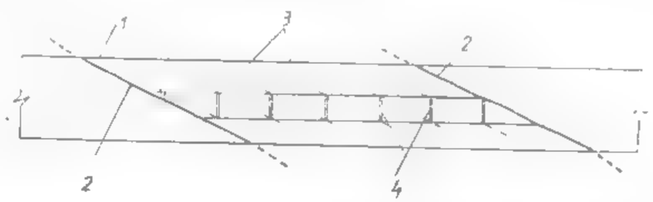


Fig. XII.27. Probarea unui corp de substanță minerală utilă cu înclinare mică într-o galerie de acces:

1—peretele galeriei; *2*—limita geologică a corpului de substanță minerală utilă; *3*—linii paralele la limitele corpului; *4*—probe brazdă.

Metodologia acestei probări constă în a marca pe peretele galeriei transversale două linii paralele orizontale, distanțate la 1 m una de cealaltă, linii ce delimitează intervalul de amplasare a probelor; acest interval se alege la o înălțime convenabilă de lucru, după care se pornește probarea de la limita zăcămîntului, prin marcarea unei probe verticale,

iar de la capătul de jos al brazdei se duce o paralelă la limita geologică a corpului care intersectează linia ce delimitează intervalul de probare, loc de unde se marchează a doua probă și așa mai departe. Și în acest caz se poate face o separare în probare a intercalațiilor sterile.

Pentru corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, metasomatice de contact etc.) probele se amplasează pe unul din pereții galeriei, iar în porțiunile unde se intersectează două galerii probele se amplasează pe tavanul galeriei (fig. XII.28). La aceste tipuri de mineralizații se disting două aspecte de care trebuie ținut seama: 1) dacă corpul are limita netă cu roca înconjurătoare (nemineralizată) probele se amplasează pînă la limită (fig. XII.28, *a*); 2) dacă corpul nu are limită netă între partea mineralizată și cea nemineralizată, se probează pînă cînd macroscopic roca nu mai este interesantă (fig. XII.28, *b*).

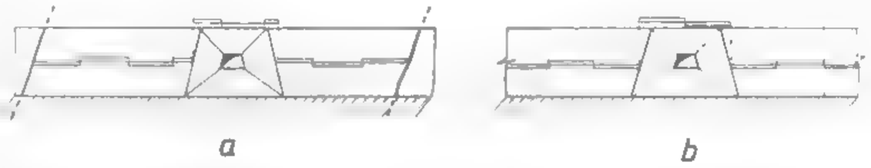


Fig. XII.28. Amplasarea brazdelor de probare în cazul unui corp de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Metoda de probare prin brazde răzuite se aplică și în cazul explorării corpurilor de substanțe minerale utile cu galerii și plane înclinate, după cum urmează:

- la zăcăminte de grosime mică (< 2 m) probele se pot recolta din tavan — atît în mod continuu cît și discontinuu (fig. XII.29, *a* și *b*) — din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.29, *c* și *d*)

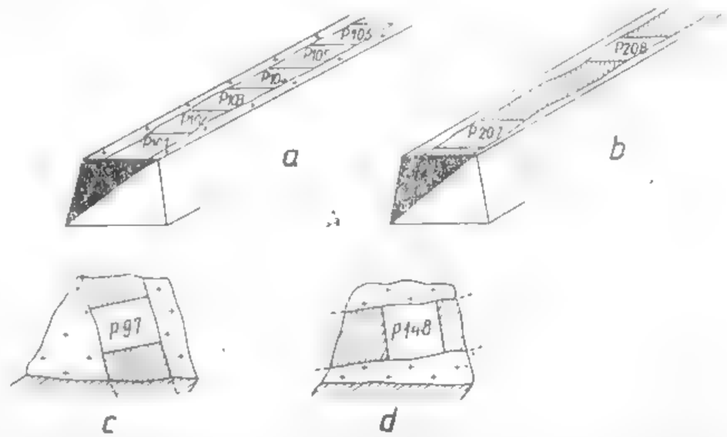


Fig. XII.29. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară, explorate cu galerii sau plane înclinate.

—la corpurile de dimensiuni mari (tabulare, stockwerk, lentiliforme etc.), probarea se face pe pereți; dacă mineralizația este foarte neuniformă se probează continuu

fig. XII.30, *a*), iar în cazul unei mineralizații neuniforme probare ase face discontinuu fig. XII.30 *b*).

Văzînd în vedere avantajele probării prin brazde răzuite față de cea prin brazde propriu-zise, se recomandă folosirea ei de cîte ori este nevoie și mai ales cînd nu poate fi înlocuită cu o altă metodă mai avantajoasă din punct de vedere al costului dar întotdeauna decizia să fie luată în urma unor încercări experimentale

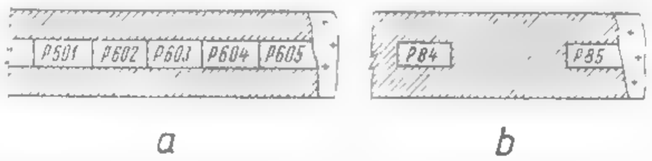


Fig. XII.30. Probarea prin brazde răzuite, în cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

Probarea prin puncte este o metodă care se aplică la toate tipurile de zăcăminte de minerale utile, în funcție de forma corpului și de gradul de uniformitate a substanței minerale utile.

Pentru corpurile tabulare de grosime mică probarea se poate face din frontul galeriei, (fig. XII.31) sau din tavanul acesteia (fig. XII.32). Se alege prima sau a doua situație în funcție de modul în care probarea poate sau nu să fie inclusă în ciclograma de săpare. Aceasta nu poate fi inclusă întotdeauna în ciclograma de săpare din două motive: 1) reduce viteza de înaintare; 2) nu se poate repeta probarea în acelasi loc.

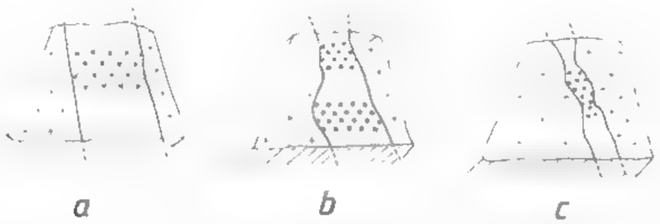


Fig. XII.31. Probarea corpului de substanță minerală utilă prin metoda punctelor, în frontul unei galerii direcționale:

a — corp de grosime medie fără variații de grosime; *b* — corp cu variații de grosime; *c* — corp de grosime mică.

În cazul în care probarea se face din tavanul galeriei, aceasta poate avea un aspect continuu (fig. XII.32 *a*) — cînd avem variații mari ale mineralizației pe direcția corpului, sau la intervale discontinuu, mari — cînd nu se sesizează variații mari ale mineralizației pe direcției de înaintare a galeriei (fig. XII.32,*b*).

Probarea din pereții galeriilor sau a planelor înclinate poate îmbrăca o serie de aspecte, la fel ca și în cazul probării prin brazde, astfel: în cazul corpurilor tabulare de

grosime mare și înclinare mare (fig. XII.33) probarea se face pe unul din pereții galeriei respectîndu-se rețeaua de probare și, mai precis, probarea continuă (fig. XII.33, *a*): cînd avem de-a face cu intercalații sterile sau intercalații cu alt tip de mineralizație se aplică aceeași tehnică de probare ca în cazul probării prin brazde (fig. XII. 33, *a*, *b*, *c*), iar cînd intercalația sterilă nu poate fi separată în procesul exploatării trebuie avut grijă ca proporția de brazde parțiale să fie în funcție de grosimea corpului de mineralizație.

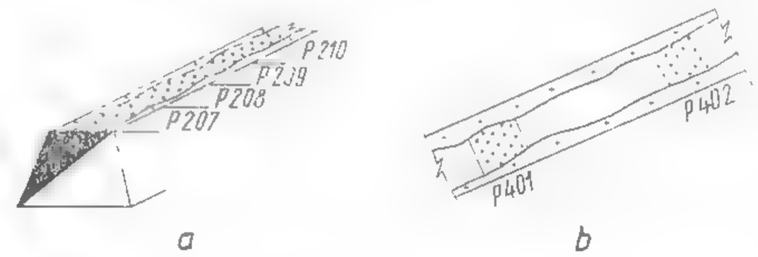


Fig. XII.32. Amplasarea probelor parțiale în tavanul galeriei, în cazul explorării corpurilor de substanță minerală utilă de grosime mică.

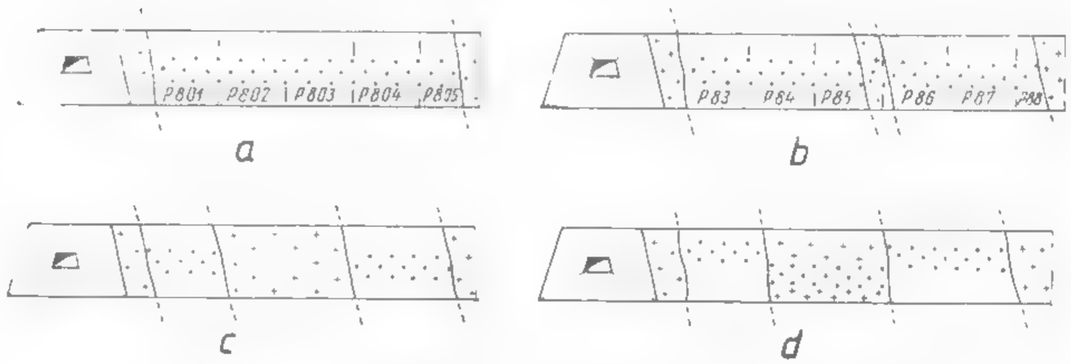


Fig. XII. 33. Amplasarea probelor punctiforme în galeriile de explorare a corpurilor de substanță minerală utilă de formă tabulară și grosime mare:

a — mineralizație compactă; *b* — mineralizație cu intercalație sterilă inseparabilă în procesul exploatării; *c* — mineralizație cu intercalație sterilă sperabilă în procesul exploatării; *d* — două dipuri de mineralizație care pot fi exploatate separat.

În cazul corpurilor mineralizate de dimensiuni mari în toate direcțiile (stockwerk, lentile etc.), probele parțiale se prelevează din pereții galeriilor ce explorează corpul, probarea îmbrăcînd două aspecte: 1) dacă mineralizația are o oarecare variație în planul de orizont, se probează în mod continuu (fig. XII.34, *a*); 2) cînd mineralizația este foarte uniformă probele se pot preleva în mod discontinuu (fig. XII.34, *b*); înainte de a aplica o variantă sau alta trebuie verificată variația mineralizației, iar dacă nu sîntem siguri de acest lucru ne limităm la prima variantă.

În cazul corpurilor de formă tabulară cu grosime mică și înclinare mică sau orizontale explorate cu plane înclinate și galerii direcționale, probele parțiale se pot preleva din frontul galeriei sau planului înclinat (fig. XII.35, *a*) sau din unul din pereții lucrării

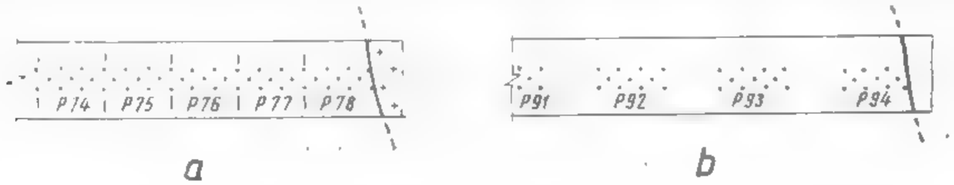


Fig. XII.34. Amplasarea probelor punctiforme în peretele galerici, cazul corpurilor de substanță minerală utilă de dimensiuni mari.

miniere (fig. XII.35, *b*). Se recomandă prelevarea din pereți, deoarece acest mod de probare nu influențează negativ viteza de înaintare a lucrării respective și este mult mai comodă pentru persoana care execută operația de probare.

Probele parțiale, în cazul metodei punctelor, se pot recolta fie sub formă de eșantioane de dimensiuni reduse și masă cuprinsă între 10 și 50 g, fie din găuri de mină (se mai numește și *metoda găurilor de mină*).

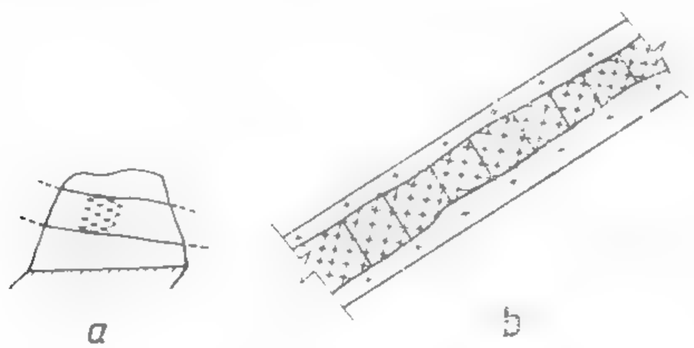


Fig. XII.35. Amplasarea probelor parțiale în galerie sau plan înclinat, în cazul explorării unui corp de substanță minerală utilă de formă tabulară cu înclinare mică sau orizontal și grosime mică.

În cazul în care materialul probei parțiale provine din găuri de mină, acesta se prezintă fie sub formă umedă, fie sub formă uscată. Trebuie acordată o foarte mare atenție modului de colectare a acestui material (se vor evita pierderile), deoarece se influențează foarte mult reprezentativitatea probării. Dispozitivele de proare sînt tratate pe larg în „Probarea zăcămintelor de substanțe minerale utile" de D. Sandu et al.

Probarea prin puncte este comparabilă cu probarea prin metoda brazdelor propriu-zise sau a celor răzuite, din punct de vedere al reprezentativității probării pentru un

număr destul de mare de corpuri de substanțe minerale utile. Acest mod de probare are operativitate foarte mare, în comparație cu metoda brazdelor, la același grad de reprezentativitate.

4. METODICA PROBĂRII ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE EXPLORATE CU FORAJE

Ca urmare a utilizării pe scară tot mai mare a forajelor în explorarea geologică, utilizare care se impune datorită eficienței economice tot mai mari (prin reducerea timpului de obținere a informațiilor și a costului mai scăzut în comparație cu lucrările miniere), trebuie acordată o mare atenție probării substanței minerale utile în acest tip de lucrări.

Pentru îndeplinirea condițiilor unei probări cît mai corecte se atrage atenția asupra responsabilității care revine persoanelor implicate atît în recoltarea materialului de probă, cît și asupra probării acestuia, ca urmare a inconvenientelor care le are explorarea cu foraje, inconveniente cum ar fi:

— densitatea punctelor de explorare este limitată, totodată și a punctelor de probare, din cauza condițiilor de teren (geomorfologice și tehnico-economice);

— repetabilitatea probării nu se poate face decît în cazul executării unei noi lucrări;

— se pot introduce erori mari ca urmare a adaosurilor și a pierderilor de substanță minerală utilă;

— în cazul corpurilor tabulare cu grosimi mici și la un recuperaj mic, probarea pe tipuri de mineralizație nu mai este posibilă.

— cînd mineralizațiile au variații mari și foarte mari a componenților utili, nu se poate obține o precizie foarte mare, indiferent de numărul de foraje;

— traversarea corpurilor de formă tabulară nu este posibilă întotdeauna după grosimea normală;

— la mineralizații cu duritate mică, recuperajul, de regulă, este scăzut, lucru ce conduce la influențarea negativă a reprezentativității;

— întocmirea documentațiilor geologice se face în cea mai mare parte pe baza materialului extras din gaura de sondă etc.

Proba, în cazul explorării cu foraje, poate fi prelevată numai din carotă, carotă detritus ori numai din detritus.

Materialul obținut în urma probării se poate folosi pentru determinări mineralogice, petrografice, chimice și chiar tehnologice în faza de laborator.

În continuare, se tratează problema metodicii probării în funcție de modul de obținere a materialului care face obiectul probării.

4.1. PROBAREA ÎN CAZUL EXPLORĂRII CU FORAJE CU CAROTAJ MECANIC

Carotajul mecanic este mult folosit în cazul explorării sul stantelor minerale utile, iar materialul obținut în vederea probării se prezintă sub formă de carote și detritus, urmînd ca o probă să fie constituită din întreg tronsonul de carotă (foraje cu diametru mic — executate din subteran) sau numai a unei părți din carotă (cazul forajelor cu diametru mare executate de la suprafață

Probarea ca operație în sine, în cazul carotajului mecanic, impune o serie de etape cum ar fi :

extragerea materialului de probat
spălarea materialului
verificarea recuperajului
extragerea materialului probă
ambalarea și etichetarea probei.

Extragerea materialului de probat este o operație foarte importantă, deoarece de modul cum este extras acesta depinde, în bună parte, reprezentativitatea probării în sine

Operația de extragere a materialului de probat constă în dislocarea din talpa forajului a materialului prin care a traversat forajul, material care adus la suprafață poate să se prezinte sub trei aspecte, în funcție de caracteristicile rocilor traversate, și anume carotă, carotă + detritus sau numai sub formă de detritus. Prima situație este cea mai avantajoasă, iar pe măsură ce ne situăm în următoarele forme (carotă + detritus, sau detritus), situația este din ce în ce mai dezavantajoasă. Forma sub care apare materialul de probat impune verificarea de fiecare dată a recuperajului

Avînd în vedere forma de prezentare a materialului de probat la gura găurii de sondă, în continuare se prezintă cîteva aspecte privind obținerea carotelor și a detritusului.

Obținerea carotelor se face prin folosirea unor dispozitive care se montează la partea inferioară a garniturii de foraj numite *carotiere*. Carotierele sînt de două tipuri : *normale* și *speciale*. În categoria carotierelor normale intră carotierele *simple* și *duble*, iar în categoria carotierelor speciale intră *carotierele pentru extras carote orientate*, *carotierele cu tub interior ireductibil* și *extractibil prin prăjini*, *carotiere de luat probe din pereții găurii de sondă* etc. Carotele se obțin în cazul forajului mecanic rotativ și sau formă cilindrică cu dimensiunile în funcție de dimensiunile carotierei și a durității formațiunilor geologice pe care le străbate aceasta.

În cazul explorării unui corp de substanțe minerale utile, se recoltează carote și din formațiunile pe care le traversează forajul pînă la mineralizație, obținîndu-se în acest mod o serie de informații cu privire la structura geologică. Cînd se carotează substanța minerală utilă a corpului, se iau cîteva măsuri în funcție de situația concretă, cum ar fi :

— în apropierea corpului se fac observații atente asupra fluidului de foraj și a carotelor din roca înconjurătoare ;

— se oprește temporar forarea pentru pregătirea carotării, pregătire care cuprinde :

- notarea adîncimii de interceptare a corpului ;
- spălarea tălpii forajului (în roci dure)
- consolidarea găurii de sondă în cazul rocilor slab consolidate ;

— în cazul corpurilor de formă tabulară de grosime mică se carotează și rocile înconjurătoare, pentru a se putea delimita cît mai bine corpul de substanță minerală utilă ;

— pentru corpurile de formă tabulară de grosime medie sau mare pot apare două situații : 1) cînd mineralizația prezintă zonalități, se carotează separat ; 2) cînd mineralizația este compactă se stabilesc marșuri egale de pînă la 2 m lungime ;

— la corpurile de dimensiuni mari în toate direcțiile se pot stabili marșuri pe tipuri de mineralizație sau marșuri egale (de 1 m) cînd mineralizația este compactă ;

— după extragerea carotei sau a fragmentelor de carotă se spală carotiera, operație care se repetă după fiecare marș de carotare ;

— se va stabili cu precizie intervalul carotat și se va trece la stabilirea recuperajului.

Stabilirea recuperajului (r) se face la fiecare marș de înaintare, folosindu-se următoarea formulă :

$$r = \frac{l_c}{l_i} \cdot 100 \ [\%]$$

în care : l_c reprezintă lungimea carotei obținute la gura găurii de sondă ;
l_i — lungimea intervalului carotat.

În România se admite, conform normelor în vigoare, un recuperaj de minimum 80 %.

Cînd l_c este egală cu l_i se obține un recuperaj foarte bun (caz ideal), dar de regulă putem să ne situăm în prezența unei carote incomplete sau chiar să lipsească din tubul carotier, fenomen cauzat de :

— prezența unei mineralizații cu duritate mică ;
— prezența unei mineralizații foarte fisurate ;
— șocul hidraulic produs de fluidul de foraj asupra carotei etc.

În vederea obținerii unui recuperaj cît mai bun se impune a se lua o serie de măsuri cum ar fi :

— marșurile să fie cît mai scurte, de pînă la 2 m, pentru prevenirea frecării carotei de tubul carotier ;

turația garniturii de foraj să fie în funcție de formațiunile carotate ;

la traversarea corpului mineralizat se alege un tub carotier cît mai mare (în limitele găurii de sondă) ;

folosirea carotierelor duble în cazul traversării formațiunilor fisurate sau sfărîmate tectonic ;

— reducerea la minimum a circulației fluidului de foraj pentru evitarea spălării carotei (forajul uscat se recomandă la formațiuni afînate) ;

— în cazul traversării formațiunilor ușor dizolvabile se recomandă ca fluidul să conțină aceeași componenți cu corpul mineralizat ;

— la ruperea carotei din talpă se recomandă folosirea dispozitivului pană etc.

În cazul obținerii unui recuperaj mic (< 80 %) se trece la recoltarea detritusului.

După obținerea carotei, aceasta se spală cu jet de apă pentru a se îndepărta pelicula de fluid de foraj, iar după uscare se așază în lădițe de probe. Lădițele au lungimi de circa 1 m, înălțimea mai mare decît diametrul carotei și lățimea cît să permită așezarea a 5—6 persoane paralele. Pentru evitarea frecării carotelor între ele, lăzile de probe sînt compartimentate.

Așezarea carotelor se face în ordinea extragerii, iar intervalul de carotare se va menționa pe marginea fiecărui compartiment

Dacă o probă este mai lungă decît lungimea lădiței (unui compartiment) se continuă așezarea în compartimentul următor, dar probele despărțindu-se la capete prin bucăți de scîndură.

În cazul unui recuperaj acceptat se trece la documentarea geologică și în final la probarea propriu-zisă a carotelor.

Lăzile se numerotează la capete în ordinea în care conțin și carotele.

Obținerea detritusului se poate impune din două motive și anume : datorită nerealizării unui recuperaj corespunzător (< 80%) sau datorită naturii substanței minerale utile.

Detritusul reprezintă partea solidă de substanță minerală utilă rezultată din spațiul inelar realizat de carotieră, la care se mai adaugă și partea solidă din tubul carotier.

Recuperarea detritusului se impune și în cazul unui recuperaj acceptat, deoarece de cele mai multe ori în timpul carotajului se poate produce o scădere a conținutului în componenți utili a materialului din carotă, deci implicit introducerea unei erori mari la calculul rezervelor geologice.

Una din problemele importante ale obținerii detritusului este recuperarea cît mai bună a acestuia. În acest sens se folosesc mai multe metode dintre care menționăm : 1) cîntărirea detritusului uscat obținut și compararea masei acestuia cu masa volumului teoretic ; 2) compararea cantității de apă introdusă în sondă cu cea extrasă. La o pierdere mai mare de 20% se impune tubarea găurii de sondă.

Detritusul se recoltează de pe același interval de pe care s-a extras și carota (material de probat format din carotă + detritus) sau detritus din intervalul în care ne-am propus să efectuăm probarea.

Recoltarea detritusului se poate face cu ajutorul unui tub colector montat la partea superioară a tubului carotier — în cazul cînd circulația se face cu apă sau cu fluid cu densitate mică — sau a unei instalații de captare a detritusului cu hidrociclon submersibil — în cazul fluidelor de foraj cu densitate mare ; această instalație este folosită în mod frecvent în procesul de explorare.

Detritusul astfel obținut va purta un act de identitate corespunzător intervalului de probare.

Probarea carotei și a detritusului se impune în funcție de modul cum se prezintă materialul obținut din intervalul de probare : dacă materialul este sub forma unei carote cu recuperaj > 80% se probează numai carota ; dacă materialul obținut este sub formă de carotă și detritus se probează amîndouă componentele, iar dacă avem numai detritus se probează numai acesta.

a) *Probarea mineralogică* se aplică la carote, deoarece în cazul detritusului elementele componente au dimensiuni prea mici pentru a putea fi supuse studiului microscopic.

În cazul carotelor, probarea constă în detașarea cu ciocanul sau cu dalta a unei porțiuni mici, în special din partea de carotă rămasă ca martor în cazul probării (metoda înjumătățirii axiale).

La obținerea probelor mineralogice se are în vedere următoarele :

— proba sau mai precis secțiunea subțire sau șlefuită nu se alege din porțiunea unde structura a fost modificată ca urmare a carotajului ;

— probele pot reprezenta tipuri reprezentative de mineralizație sau de rocă sterilă ;

— pe materialul probă se va marca exact locul unde trebuie să se execute secțiunea ;

— în *actul de identitate al probei* se va marca exact adîncimea de prelevare etc.

Probarea mineralogică se recomandă deoarece ne dă o imagine cît mai bună asupra compoziției mineralogice și petrografice a mineralizației ; se aplică în special în cazul explorării preliminare sau în extindere, urmînd ca datele obținute să servească explorării de detaliu.

b) *Probarea pentru determinarea caracteristicilor chimice a substanței minerale utile* (probarea chimică), în cazul carotelor, se face prin trei metode mai utilizate în practică și anume :

— metoda înjumătățirii axiale ;

— metoda brazdelor după generatoarele carotelor ;

— metoda reținerii integrale a carotelor.

Metoda înjumătățirii axiale constă în spargerea carotei după un plan axial, operație care se face fie manual fie mecanic.

Înjumătățirea manuală a carotei se face cu dalta și cioacanul, metodă care are o largă aplicabilitate și în prezent, deși înjumătățirea corectă nu se face decît foarte rar.

Metodologia despicării manuale după un plan axial constă în așezarea carotei pe o placă sau șină, după care cu dalta și ciocanul se urmărește planul axial, care în prealabil a fost trasat pe suprafața carotei (fig. XII.36).

După fiecare probă recoltată se curăță locul de probare pentru a evita contaminarea probei următoare.

Așa cum s-a mai menționat, nu întotdeauna despicarea se face după planul materializat pe carotă, deoarece de cele mai multe ori carota are prinse în ea și fisuri cu minerale de neoformație cu duritate mică, iar despicarea în cazul șocului tinde să se facă după planul de fisurație.

Din motivul menționat mai sus și pentru a mări productivitatea acestei metode de probare se folosesc pe scară tot mai largă dispozitive mecanice, la care tăierea după planul axial se face cu discuri cu inserții de diamante.

În urma aplicării acestei metode se obțin două jumătăți de carotă (fig. XII.37) una ca probă martor, iar alta proba pentru analize chimice.

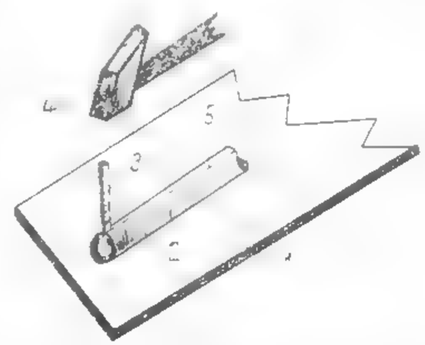


Fig. XII.36. Modul de despicare manuală a carotei după planul axial :
1 — placă metalică ; 2 — carotă ; 3 — daltă ; 4 — ciocan ; 5 — plan axial.

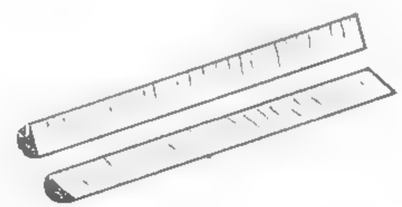


Fig. XII.37. Carotă despicată după un plan axial.

Metoda brazdelor după generatoarele carotelor constă în recoltarea materialului probă dintr-o brazdă sau mai multe, în funcție de gradul de uniformitate a componenților utili, brazde recoltate după generatoarele carotelor (fig. XII.38).

Prelevarea brazdelor se face mecanizat cu discuri [illegible] Se poate [illegible] brazde din mai multe carote simultan [illegible] gradul de operativitate al probării.

Probarea prin brazde prezintă [illegible] în comparație cu metoda [illegible] înmătăturii axiale, cum ar fi:

gradul de reprezentativitate mai ridicat, [illegible] de;

posibilitatea reprobării carotei;

se reduc substanțial cheltuielile de prelucrare a probei, deoarece materialul [illegible] este sub formă de pulbere;

— productivitatea mare ca urmare a mecanizării complete a operației;

se obține o greutate a materialului probă de circa 150—200 g;

partea rămasă din probă este mult mai mare în comparație cu cea de la [illegible] metodă, avînd astfel posibilitatea măririi numărului de cercetări etc.

Fig. XII.38. Secțiune transversală printr-o carotă probată prin metoda brazdelor, după generatoarea acestei

Metoda de probare prin reținerea întregii carote se aplică numai în cazul forajelor cu diametre [illegible] de regulă în cazul celor executate din subteran.

Această metodă constă în reținerea [illegible] a unei carote [illegible] de lungimea de probare (circa 1 m). Se aplică numai în cazul forajelor executate din subteran, deoarece are marele dezavantaj că nu oferă posibilitatea obținerii de probe martor.

Probarea detritusului se face și în cazul în care proba se compune din carotă+detritus și în cazul în care se compune numai din detritus.

După recoltarea detritusului, acesta se curăță de elemente metalice (provenite din uzura sondei sau a coronanelor), curățire care se poate face cu ajutorul unui magnet.

În cazul probelor carotă + detritus, materialul care se adaugă la carotă trebuie să aibă același act de identitate. Dacă cantitatea de detritus este de circa kilograme, acesta se împachetează împreună cu [illegible] de pe același maș.

Cînd cantitatea de detritus este mare, se reconstituie proba de detritus prin [illegible] la sfertuire, avîndu-se în vedere faptul că granulația este destul de mică.

Indiferent de forma sub care este materialul probă, acesta se împachetează în săculeți și împreună cu *actul de dezbatere* se expediază la laboratorul de analize.

c) *Probarea tehnică* se aplică destul de rar și mai ales în cazurile cînd nu există posibilitatea de a obține informații din lucrări miniere.

În cazul în care se impune și acest mod de probare, probele se iau numai din carote. În funcție de scopul probării tehnice, probele pot fi [illegible] de carote, se [illegible] cinează, se pun în tuburi închise ermetic sau pur și simplu se pun în pungi de [illegible].

De regulă, acest mod de probare se aplică în [illegible] tehnomară, dar și în [illegible] lorarea, de detaliu, cînd nu avem lucrări miniere.

d) *Probarea tehnologică* (faza de laborator) constă în conservarea materialului rămas de la determinările chimice, material provenit din mai multe tronsoane de probare, dar în funcție și de perspectiva de valorificare a mineralizației.

Din foraje se recoltează probe tehnologice numai pentru faza de laborator ca urmare a cantității mici de material care se obține.

Probele tehnologice, faza de laborator, pot conține material dintr-un singur foraj sau dintr-un grup de foraje, dar din același tip de mineralizație.

Acest mod de probare se aplică numai în explorarea preliminară și rămîne numai cu caracter informativ, ca urmare a gradului mic de reprezentativitate.

4.2. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII ÎN EXPLORARE A FORAJULUI MECANIC PERCUTANT

Forajul mecanic percutant are din [illegible] în ce mai puține întrebuințări în practica [illegible] explorări geologice. Se folosește mai mult în cazul corpurilor de dimensiuni mari și cu o [illegible] uție cît mai uniformă a componenților utili și mai precis în explorarea în extindere [illegible] acestor corpuri.

Diametrul găurii de sondă este mare, începînd de la 100 mm pînă la 600 mm, în [illegible] cu acest diametru fiind și masa materialului de probat extrasă pe un tronson de [illegible] masă care poate să varieze de la zeci de kilograme pînă la sute de kilograme.

În vederea unei probări cît mai reprezentative trebuie să se țină seama de o serie [illegible] tori cum ar fi:

— probele se iau pe intervale egale (de 1,0—1,5 m) în cazul corpurilor cu mineralizație omogenă și inegale cînd într-un corp apar zone cu diferite omogenități și exploatarea [illegible] ar putea face selectiv; intervalul de probare se stabilește prin încercări experimentale;

— trebuie acordată mare atenție pierderii de detritus, deci unei modificări a raportului [illegible] între minerale din material și cele din mineralizație. În acest sens se face o verificare permanentă prin compararea masei detritusului extrase cu cea a detritusului rezultat din calculul teoretic;

— trebuie luate toate măsurile în vederea susținerii găurilor de sondă, cînd este [illegible] pentru a împiedica contaminarea materialului de probă;

— înainte de a se trece la recoltarea unei probe, se spală bine talpa sondei pînă la [illegible] de și apoi se trece la operația de recoltare a materialului de probă.

Materialul obținut de pe tronsonul în care urmează a se efectua probarea se prezintă sub forma de tulbureală, material care se aduce la suprafață cu lingura de lăcătărie [illegible] pune într-o lada metalică. Partea solidă din tulbureală, așa cum s-a mai precizat, [illegible] are o masă de la [illegible] de kilograme pînă la sute de kilograme. Pentru analizele [illegible] este nevoie de cantități mult mai mari, de ordinul kilograme. Avînd în vedere acest lucru [illegible] faptul că partea solidă din tulbureală are dimensiuni mici, acest material se poate [illegible] chiar în faza de tulbureală.

Probarea în cazul forajelor mecanice percutante se face în final două etape distincte: [illegible] extragerea materialului [illegible] și apoi reducerea acestuia, deci probarea [illegible] ru-zisă.

Avînd în vedere forma sub care se prezintă materialul de probat în cazul forajului percutant se pot recolta trei tipuri de probe:

— probe mineralogice de analiză [illegible] și [illegible] obișnuită;

— probe chimice;

— probe tehnologice.

Probele tehnologice se pot recolta pentru încercări în faza de laborator și în fază [illegible] se compun din materialul extras de pe un tronson de probare, dintr-un foraj sau [illegible] anumite porțiuni de mineralizație.

Probele chimice sînt cele mai frecvente și, de regulă, se prelevează ori de cîte ori se [illegible] tă un asemenea foraj.

Probarea în cazul determinărilor chimice se face prin două procedee, și anume: [illegible] trecerea tulburelii printr-un set de divizoare cu jgheaburi și prin puncte cu un dis[illegible] zitiv sondă.

— *Procedeul de trecere a tulburelii prin jgheaburi divizoare* este destul de des folosit [illegible] nstă în trecerea tulburelii din lada metalică prin jgheaburi de dimensiuni din ce în [illegible] ce mai reduse. Jgheaburile sînt montate în așa fel încît după prima trecere tulbureala

este împărțită în două părți egale, iar după ultimul set de igheaburi se obține proba pentru analize și proba martor.

— *Procedeul prin puncte* constă în probarea cu ajutorul *dispozitivului-sondă* în lădița de colectare a tulburelii, în circa 5—8 puncte distribuite cît mai uniform pe suprafața lăzii. Dispozitivul sondă se compune dintr-o țeavă prevăzută cu un dispozitiv de închidere la partea inferioară după ce s-a prelevat proba punctiformă, țeavă care prin introducere în poziția verticală în lada cu tulbureală reține o parte din material. Proba finală se compune din circa 5—8 probe punctiforme.

La recoltarea probelor prin puncte se au în vedere următoarele etape

omogenizarea tulburelii pînă la fundul lăzii;

introducerea dispozitivului-sondă în poziție verticală și cu o mișcare cît mai rapidă;

închiderea dispozitivului (la partea inferioară);

ridicarea cît mai rapidă a dispozitivului;

golirea dispozitivului într-un vas care conține proba;

uscarea probei prin evaporarea apei (naturală sau artificială), avînd-se în vedere faptul că dacă se folosește evaporarea artificială, temperatura nu trebuie să depășească 100—105°C.

La adîncimi mici ale găurii de sondă, în loc de apă se poate folosi aerul comprimat, dar în acest caz trebuie avută mare atenție la recuperarea prafului.

4.3. PROBAREA ÎN CAZUL FOLOSIRII FORAJUI MANUAL, SEMIMECANIC, ROTATIV ȘI ROTATIV-PERCUTANT ÎN EXPLORAREA GEOLOGICĂ

Forajul manual și în ultima vreme forajul semimecanic uscat (fără fluid de spălare) este din ce în ce mai mult folosit în explorarea geologică a zăcămintelor situate la mică adîncime (≤ 300 m), zăcăminte de caolin, argile, nisipuri, pietrișuri, diatomite, bentonite etc. Diametrul găurii de sondă este cuprins între 600 mm (diametru inițial) și 50 mm (diametru final). La executarea unui asemenea foraj, de regulă, se folosesc coloane telescopice, începîndu-se de la diametru mare și în final ajungîndu-se la diametre mici.

Tronsonul de probare este cuprins între 0 și 3 m și, de regulă, corespunde cu un marș de înaintare. Probele au o masă de la cîteva kilograme pînă la zeci de kilograme.

În cazul forajului manual probele se iau cu următoarele instrumente, fiecare instrument corespunzînd unui anumit tip de rocă, astfel:

burghiul se folosește la forarea în cazul argilelor sau a altor roci cu fisibilitate ridicată, iar proba se obține odată cu scoaterea burghiului; materialul care se desprinde de pe burghiu se așază pe o platformă metalică sau pe o scîndură;

— *borsapa de foraj* este tot un instrument de săpare și curățire a găurii de sondă, utilizîndu-se în cazul terenurilor afinate (nisipuri argiloase, nisipuri etc.); prin rotirea sapei antrenată de garnitura de prăjini, materialul (proba) este desprins de piesa tăietoare de la baza sapei și introdus în corpul sapei, urmînd a fi ridicat la suprafață;

lingura de lăcărit se folosește pentru aducerea materialului la suprafață în cazul în care formațiunea este situată sub nivelul hidrostatic sau în care s-a făcut o forare hidraulică; materialul probă intră în corpul lingurii (cilindru) pe la partea inferioară, unde aceasta este prevăzută cu o clapetă care la coborîre stă ridicată (deci permite intrarea tulburelii în corpul lingurii), iar la ridicare stă închisă.

Proba este sub formă de tulbureală și parte grosieră, fapt pentru care materialul se pune într-un vas pentru decantare. Din materialul umed se ia proba, ca și în cazul forajului mecanic percutant.

Probele, în cele trei cazuri de extragere, sînt probe tulburate, iar materialul are compoziția medie a formațiunii din intervalul de probare.

Dacă se impune recoltarea de probe netulburate, atunci se folosește *ștuțul*, dispozitiv ce se montează la partea inferioară a garniturii de foraj.

Prin lăsarea garniturii libere ștuțul se înfige în formațiunea de probat (ca urmare a greutății garniturii de foraj), iar prin ridicare la suprafață, fără rotirea garniturii, se obține proba netulburată, care este prinsă în interiorul ștuțului, ce se demontează și se parafinează, după care se expediază la laborator.

Deosebirea între forajul manual și cel semimecanic constă în modul de acționare a garniturii de prăjini.

Pentru evitarea impurificării probei, în toate cazurile posibile se încearcă înfigerea coloanei de tubaj pe cel puțin adîncimea unui tronson de probare, iar cînd se întîlnesc mai multe strate acvifere se izolează fiecare strat cu cîte o coloană, trecîndu-se la stratul următor cu o coloană mai mică.

Așa cum s-a mai menționat, o probă poate fi constituită din tot materialul dintr-un tronson de probare (cînd tronsonul corespunde cu marșul de înaintare) sau din probe parțiale cînd tronsonul de probare este străbătut prin mai multe marșuri — fiecare marș reprezentînd o probă parțială.

În cazul probelor parțiale, acestea se adună pe o platformă metalică sau din scîndură și dacă nu sînt necesare observații geologo-mineralogice pe probe parțiale, probele se comasează, se omogenizează, după care urmează reducerea pînă la o probă de cîteva kilograme, iar restul de material (de la ultima reducere) se pune în lăzi de probe și reprezintă proba martor.

Probele astfel obținute pot servi ca probe mineralogice, probe chimice, probe tehnice și probe tehnologice faza de laborator și chiar pilot.

Probarea în cazul forajelor manuale și semimecanice are marele avantaj că materialul are calități care nu diferă mult de cele din situ, ba mai mult, structura nu este afectată esențial ca urmare a sfărîmării materialului sau a ajungerii lui în contact cu fluidul de foraj.

Forajul manual și semimecanic se folosește mult în recoltarea probelor tehnice, deoarece are marele avantaj că se pot recolta probe netulburate și cu caracteristici tehnice asemănătoare cu cele din situ.

5. PRELUCRAREA PROBELOR GEOLOGICE PENTRU DETERMINAREA CONȚINUTULUI ÎN COMPONENȚI UTILI ȘI DĂUNĂTORI

În vederea determinărilor calitative și cantitative a componenților utili și dăunători într-o probă geologică (recoltată în urma explorării geologice), de masă inițială m, care de regulă variază de la cîteva sute de grame pînă la zeci de kilograme, trebuie să se supună proba la un număr de reduceri, ca în final să se obțină o masă finală de cîteva zeci de grame

pînă la sute de grame (după unii autori), masă necesară pentru analize chimice, spectrografice etc. Cantitatea finală este în funcție de numărul de componenți, de necesitatea unei probe martor (pentru analize de control intern și extern) și de probe duplicat.

Reducerea masei inițiale la o masă finală trebuie făcută astfel încît să se diminueze caracterul ei reprezentativ, adică, să se păstreze raportul cantitativ dintre mineralele componente. Această reducere se realizează printr-o serie de operații ca: sfărîmare, măcinare, cernere, omogenizare, reducere, operații înlănțuite și care reprezintă *prelucrarea probelor*.

Operația de prelucrare este cu atît mai complexă cu cît gradul de neomogenitate mineralogică și masa probei sînt mai mari.

Reducerea probei inițiale ar putea fi făcută și prin reducerea granulației probei pînă la dimensiunile necesare pentru analize (0,1—0,07 mm), după care ar urma omogenizarea materialului obținut și, în final, reducerea lui prin înjumătățire pînă la obținerea cantității necesare analizei. Acest mod de reducere are o serie de inconveniente (în special pentru probele de masă mare), cum ar fi:

cheltuieli mari pentru mijloace tehnice;
consum mare de energie;
timp îndelungat pentru prelucrare.

Pentru înlăturarea acestor inconveniente, în practică se utilizează o serie de scheme de prelucrare a probelor care au la bază *formula lui Ceciott*:

$$m = k \cdot d^2,$$

în care: k este o constantă ce depinde de tipul de minereu, fiind determinată experimental și tabelată, valoarea sa oscilînd între 0,02 și 1,00 (uneori chiar mai mult);

d — diametrul celor mai mari granule din cadrul probei.

Schemele de prelucrare a probelor urmăresc, în principal, cîteva aspecte cum ar fi:

menținerea reprezentativității materialului probă în procesul reducerii acestuia;
reducerea timpului de prelucrare a probei, ca urmare a capacității relativ mici a aparaturii de laborator;
reducerea costurilor.

Într-un caz concret, pentru o probă ai cărei parametri (m, d și R) se cunosc, se pot stabili:

gradul de reducere: $r = m/m'$;
gradul de sfărîmare: $q = d/d'$;
numărul de reduceri n, care se poate stabili în funcție de r.

Gradul de reducere se poate stabili astfel:

după prima reducere $r_1 = m/m_1 = 2 = 2^1$;
după a doua reducere $r_2 = m/m_2 = 4 = 2^2$;
după a treia reducere $r_3 = m/m_3 = 8 = 2^3$;
după n reduceri $r_n = m/m_n = 2^n$,

de unde rezultă că numărul de reduceri n este egal cu puterea lui 2. În formulele de mai sus: m, d reprezintă masa și respectiv diametrul probei înainte de reducere; m_1, m_2, m_3, ..., m_n, d' sînt parametrii probei reduse în etape diferite.

Pentru întocmirea unei scheme de prelucrare a unei probe se urmăresc următoarele etape:

a) Se verifică dacă proba (de masă m) se poate reduce fără a se modifica caracteristicile ei, fiind diametrul maximal al bucăților. Pentru aceasta se verifică dacă se calculează masa pentru reducerea la diametrul d folosind formula lui *Ceciott* ($m_r = kd_r^2$), iar în funcție de gradul de reducere $r = m/m_r$ se ia o decizie sau alta după cum urmează:

dacă $r \geq 2$ proba se poate reduce fără nici o prelucrare, o dată (dacă $r = 2^1$), de două ori (dacă $r = 2^2$), de trei ori (dacă $r = 2^3$) ... în funcție de raportul maselor), care poate fi cuprins între limitele: 2^n și 2^{n+1} și, în final, se obține numărul de reduceri care reprezintă puterea cea mai mică a lui 2.

dacă $r < 2$ nu se adaugă reducerea probei fără a fi prelucrată, iar în această situație se trece la a doua etapă.

b) Întocmirea schemei de prelucrare a probei, care cuprinde mai multe faze în funcție de aparatura laboratorului de prelucrarea probelor. Dacă se are la dispoziție următoarea aparatură:

— concasor cu fălci cu un diametru final de 8 mm;
— concasor cu valțuri cu un diametru final de 2,4 mm;
— concasor cu valțuri cu un diametru final de 1,4 mm;
— moară cu valțuri cu un diametru final 0,1 mm,

schema prelucrării probei va fi cea din fig. XII.39, schemă întocmită după cum se arată în continuare. Deci, dacă proba nu se poate reduce fără prelucrare ($r < 2$), cantitatea de probă se trece prin primul aparat (concasorul cu fălci cu diametrul final de 8 mm) după care se calculează din nou masa pentru diametru d_1 (8 mm) și se reface raportul și se observă în ce limite variază valoarea lui r_1 ($2^{n_1} \leq r_1 \leq 2^{n_1+1}$), obținîndu-se în acest mod numărul de reduceri din prima fază (n_{1s}) care se diminuă caracterul reprezentativ al probei.

După cele n_{1s} reduceri din prima fază (corespunzătoare primului aparat) se trece în faza a doua, care presupune trecerea materialului rezultat în urma n_{1s} reduceri prin cel de al doilea aparat care are diametrul final $d_2 = 2,4$ mm, iar în final se repetă raționamentul din prima fază, obținîndu-se numărul de reduceri din faza a doua, n_{2o}.

La fel se procedează pentru concasorul cu valțuri cu diametrul final $d_3 = 1,4$ mm, iar cantitatea de material rezultată din cea n_{3t} reduceri se prelucrează în faza a patra cu moara cu valțuri $d_4 < 0,1$ mm, urmînd să se procedeze la reduceri succesive, pînă se obține cantitatea de material necesară pentru analiză (care este în funcție de numărul de componenți de determinat și de tipul de analiză). Numărul de reduceri n_{4p} este egal cu numărul de reduceri succesive. Se procedează la reduceri succesive deoarece $d_4 < 0,1$ mm este necesar pentru analize.

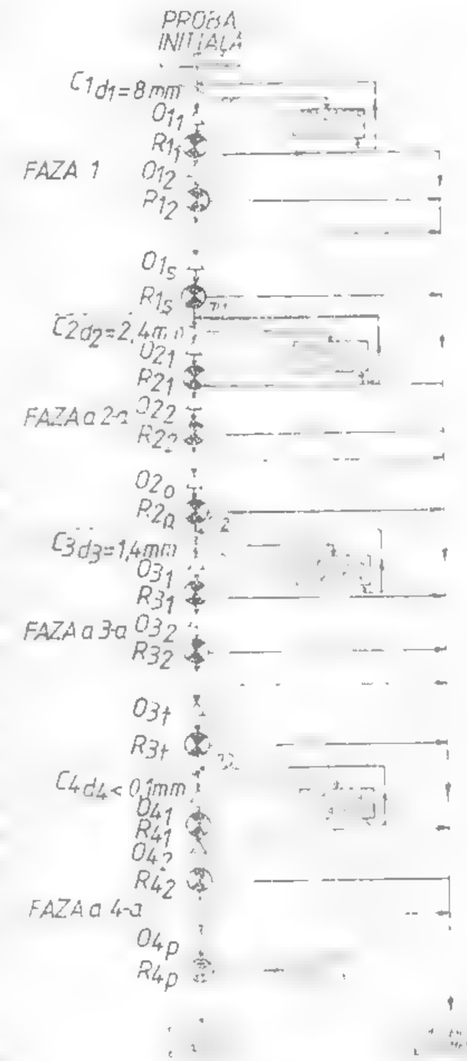


Fig. XII. 39. Schema de prelucrare a unei probe geologice în vederea determinării conținuturilor în elemente chimice

C_1 — C_4 — ciururi; O — omogenizare; R — reducere; s, o, t, p — numărul de omogenizări, respectiv de reduceri din fiecare fază; $m_1 \ldots m_4$ — mase reduse după fiecare fază; $d_1 \ldots d_4$ — diametrele găurilor ciururilor, respectiv diametrele finale ale aparatelor

XIII. CAROTAJUL GEOFIZIC

Şef lucrări, dr. ing. AURELIAN NEGUŢ

Pentru rezolvarea problemelor prospecțiunii și explorării acumulărilor de substanțe minerale solide, alături de informațiile geofizică și geologică directă obținută prin foraje și lucrări miniere, se folosesc, cu bune rezultate și datele carotajului geofizic.

Prin denumirea generică de *carotaj geofizic* se înțelege complexul de metode și procedee în care se înregistrează variația unor parametri fizici ai rocilor de-a lungul profilului traversat de forajele efectuate pentru cercetarea diferitelor substanțe minerale utile.

Aplicarea eficientă a metodelor de carotaj geofizic trebuie să aibă în vedere, pe de o parte, varietatea foarte mare a substanțelor minerale utile solide ce prezintă interes practic și, pe de altă parte, contrastul de proprietăți fizice care se poate realiza între acestea și rocile care le găzduiesc.

Unele particularități ale carotajului geofizic pentru minereuri, cărbuni și alte substanțe solide își au originea în însăși caracteristicile sondelor în ceea ce privește diametrul, adîncimea, natura fluidului de foraj folosit, locul sondei (la suprafață sau în subteran) și chiar accesibilitatea la sondă.

Metodele și tehnicile de lucru folosite vizează atît detectarea și delimitarea substanțelor minerale cît și obținerea elementelor necesare pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din rocile cercetate; pentru a fi eficiente, aceste metode și tehnici trebuie să fie integrate rațional în succesiunea normală de prospecțiune și explorare aplicată într-o anumită zonă de lucru.

Principalele probleme puse carotajului geofizic pentru substanțe minerale solide pot fi sintetizate astfel:

- separarea și caracterizarea *in situ* a formațiunilor după natura litologică și corelarea lor;
- detectarea și delimitarea anumitor substanțe minerale în formațiunile traversate prin foraje;
- determinarea grosimii și plasarea limitelor corpurilor de minereu sau zonelor mineralizate și a stratelor de cărbuni; stabilirea poziției lor structurale;
- determinarea tipului de substanță minerală utilă detectată;
- evaluarea cantitativă a conținutului în substanțe utile din minereu și conținutului în cenușă a cărbunilor;
- identificarea și delimitarea formațiunilor acvifere și caracterizarea dinamicii apelor subterane în strînsă legătură cu lucrările miniere de explorare și exploatare;
- estimarea *in situ* a unor parametri fizico-mecanici ai rocilor.

Carotajul geofizic s-a dovedit a fi de un real folos în rezolvarea unor astfel de probleme; în plus, ca metodă indirectă prezintă o serie de avantaje în raport cu metodele directe bazate pe analiza carotelor mecanice și anume:

— dă un profil complet și continuu al formațiunilor, înlăturînd recuperajul redus și caracterul discontinuu al carotelor;

- datele obținute sînt mult mai reprezentative deoarece măsurătorile geofizice se referă la volume de roci mult mai mari decît cele ale carotelor extrase;

- delimitează cu suficientă precizie zonele mineralizate, corpurile de minereuri și stratele de cărbuni și alte substanțe;
- furnizează datele necesare pentru stabilirea conținutului în substanță utilă al minereurilor sau în cenușă a cărbunilor la un grad de încredere comparabil cu acela obținut din analizele de laborator;
- pe baza parametrilor fizico-mecanici ai rocilor determinați *in situ* și a particularităților hidrogeologice evaluate prin carotaj geofizic, pot fi deduse informații utile necesare pentru optimizarea execuției lucrărilor miniere;
- obținerea tuturor informațiilor într-un timp relativ scurt și la costuri mai reduse.

1. PRINCIPIILE DE BAZĂ ALE METODELOR DE CAROTAJ GEOFIZIC APLICATE ÎN GEOLOGIA MINIERĂ

În problemele de geologie minieră se aplică în prezent un complex de metode și tehnici de carotaj geofizic care au la bază variația proprietăților fizice ale rocilor și substanțelor minerale utile căutate. Aceste proprietăți fizice au fost deja prezentate pe larg în capitolul referitor la Prospecțiunea geofizică.

Pentru înregistrarea variației parametrilor fizici în funcție de adîncime, în multiplele variante de carotaj geofizic se folosește o aparatură automată complexă constituită din două părți: *aparatura de sondă* și *aparatura de suprafață*. Legătura dintre ele este realizată prin intermediul cablului de carotaj multiconductor cu armătură metalică.

Semnalele electrice obținute de la traductorii din aparatura de sondă sînt transmise prin cablu, prelucrate în aparatura de suprafață și înregistrate, în urma unei calibrări corespunzătoare, sub formă de curbă continuă în funcție de adîncime.

Multiplele condiții întîlnite la cercetarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide (zone greu accesibile, sonde săpate din subteran etc.) au făcut ca aparatura de carotaj geofizic de mică adîncime să fie realizată sub formă portabilă.

1.1. CAROTAJUL DE REZISTIVITATE APARENTĂ

Domeniul foarte larg de variație al rezistivității electrice a rocilor în funcție de natura lor litologică, precum și de conținutul în apă și minerale conductoare, face posibilă folosirea cu mare eficiență a metodei la cercetarea zăcămintelor de minereuri. Există mai multe procedee practice care se aplică în prezent sau care au aplicații potențiale în acest domeniu.

1.1.1. CAROTAJUL OBIŞNUIT (STANDARD)

Constă în măsurarea rezistivităţii aparente cu dispozitive potenţiale şi gradiente, prin crearea unui cîmp electric care se deplasează de a lungul sondei şi măsurarea unei diferenţe de potenţial între două puncte ale mediului cercetat.

Schemele principale de măsurare folosind dispozitive potenţiale sau gradiente sînt indicate în fig. XIII.1.

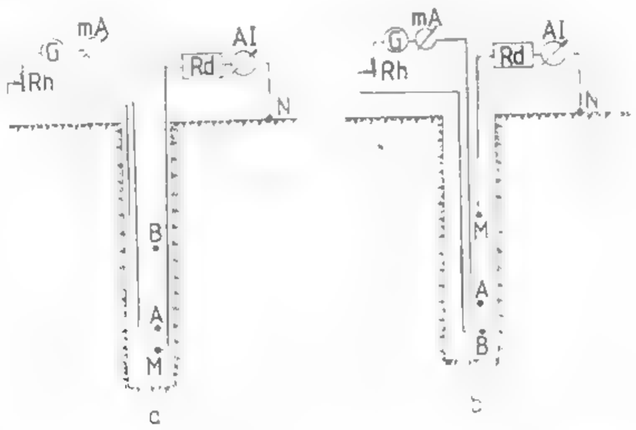


Fig. XIII.1. Schemele principale de măsurare utilizate în carotajul electric obişnuit:

a — dispozitiv potenţial; *b* — dispozitiv gradient.

În înregistrările curente se preferă folosirea dispozitivelor bipolare care permit înregistrarea simultană a curbelor de rezistivitate şi PS.

Rezistivitatea măsurată ρ_A se calculează cu relaţia:

$$\rho_A = K \frac{\Delta U}{I}$$

în care K, constanta dispozitivului, depinde numai de configuraţia geometrică a acestuia.

De obicei, în fiecare sondă se înregistrează două curbe de rezistivitate: una cu dispozitiv potenţial (curba potenţială) şi una cu dispozitiv gradient (curba gradientă). În general, cele două curbe prezintă valori diferite datorită volumelor de rocă implicate în măsurătoare, în funcţie de raza de investigaţie a dispozitivelor utilizate. Obişnuit, volumul investigat cu dispozitivul potenţial este mai mic decît cel investigat cu dispozitivul gradient. Diferenţierea valorilor de rezistivitate înregistrate cu cele două dispozitive în faţa aceleiaşi roci se explică prin influenţa fluidului de foraj din sondă şi efectul pătrunderii acestuia în rocile poroase-permeabile traversate.

Pentru a putea efectua un carotaj electric obişnuit, sonda trebuie să conţină fluid de foraj; în sondele uscate, săpate cu aer, carotajul electric obişnuit nu se poate aplica.

În principiu, dispozitivele folosite trebuie să asigure o rază de investigaţie suficient de mare şi o bună rezoluţie verticală. Rezoluţia pe verticală ce trebuie asigurată de dispozitivele alese este strîns legată de grosimea minimă a stratelor sau zonelor mineralizate care prezintă interes practic.

Pentru înregistrarea rezistivităţii aparente se utilizează atît dispozitivele B2A03, M (potenţial) şi M2A0, 3 B (gradient) uzuale la investigarea sondelor săpate pentru hidrocarburi, cît şi dispozitivele reduse B0, 5A0, 1 M (potenţial) şi M0, 5A0, 1B (gradient); ultimele din urmă permit separarea cu mai mare precizie a stratelor sau zonelor mineralizate cu grosime mai mică.

1.1.2. CAROTAJUL CU CURENŢI FOCALIZAŢI

Principial, metoda constă în investigarea mediului sondei cu ajutorul unui cîmp electric creat de un curent dirijat aproape normal pe peretele sondei sub forma unui fascicul, printr-un sistem adecvat de focalizare. Pe această cale se realizează reducerea substanţială a influenţei noroiului din sondă şi a stratelor adiacente, influenţă ce putea avea o mare în carotajul electric obişnuit.

Dintre dispozitivele focalizate, la investigarea sondelor de minereuri, cărbuni şi uneori rale se recomandă utilizarea dispozitivelor cu trei electrozi alungiţi (fig. XIII.2). Prin electrodul central A_0 se trimite un curent de intensitate I_0, iar prin electrozii A_1 şi A_2 scurtcircuitaţi un curent de intensitate I_1 şi de aceeaşi polaritate cu I_0. Curentul I_1 se reglează automat în raport cu I_0 astfel ca potenţialul electrozilor A_1 şi A_2 să se menţină la potenţialul electodului A_0. În felul acesta este asigurată aşa numita *condiţie de focalizare*.

Lăţimea pînzei de focalizare este aproximativ egală cu lungimea dispozitivului şi determină grosimea minimă a stratelor care pot fi precis delimitate, fără o influenţă importantă a stratelor adiacente.

Dispozitivele focalizate reflectă litologia generală a formaţiunilor traversate şi separă foarte bine stratele subţiri. Cu ajutorul carotajului cu curenţi focalizaţi pot fi localizate foarte bine zonele cu fracturi în rocile compacte, zonele de alteraţie, zonele mineralizate, stratele de cărbuni, stratele de sare, săruri de potasiu ş.a.

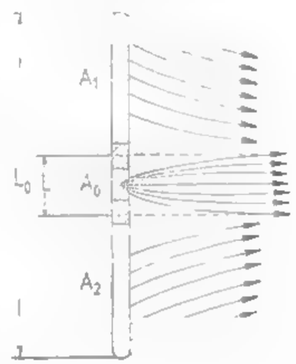


Fig. XIII.2. Schema de principiu a dispozitivului focalizat LL.

A — electrod principal; A_1, A_2 — electrozi de focalizare; *L* — lungimea dispozitivului; *L* — lungimea totală

1.1.3. CAROTAJUL INDUCTIV

Principial, carotajul inductiv constă în următoarele: printr-o bobină transmiţătoare (*T*) montată pe un suport izolant, se trimite un curent alternativ de o anumită frecvenţă. Cîmpul magnetic variabil produs de bobină (cîmp magnetic primar sau direct) dă naştere la curenţi induşi cu parcurs circular în formaţiunile traversate. Curenţii induşi a căror intensitate este proporţională cu conductivitatea formaţiunilor — creează un cîmp magnetic secundar care induce o f.e.m. într-o bobină receptoare (*R*) (fig. XIII. 3), situată la distanţa *L* (lungimea dispozitivului) de bobina transmiţătoare. Semnalul înregistrat este proporţional cu conductivitatea formaţiunii, în care se află dispozitivul.

Majoritatea dispozitivelor moderne de carotaj inductiv sînt dispozitive cu mai multe bobine, asa-numitele *dispozitive focalizate*; aceste dispozitive au o mai bună rezoluție verticală și o rază de investigație mai mare.

Domeniul optim de aplicabilitate al carotajului inductiv este oferit de sondele care conțin un fluid de foraj cu rezistivitate mare (fluide negre, cu adaos de petrol) sau sondele uscate (fără fluid), uneori la explorarea substanțelor minerale solide.

Carotajul inductiv datorită rezoluției verticale foarte bune a dispozitivelor utilizate delimitează cu precizie intervalele din gaura de sondă, mai ales cele conductoare ale stratelor mineralizate.

1.1.4. METODA CAROTAJULUI DE CURENT

Dacă de-a lungul axei filului sondei se deplasează un electrod *A* conectat la o sursă de curent continuu, curentul care trece în mediul înconjurător variază în funcție de rezistivitatea mediilor traversate de sondă. Acesta este principiul care stă la baza metodei carotajului de curent în care electrodul se deplasează pe axa sondei (fig. XIII.4 *a*) sau este fixat pe o patină (fig. XIII.4 *b*), în varianta denumită *contacte alunecătoare*.

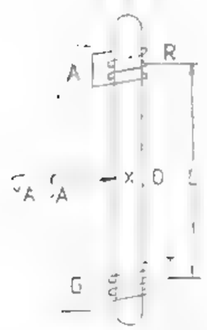


Fig. XIII.3. Schema principală a unui dispozitiv de carotaj inductiv cu două bobine.

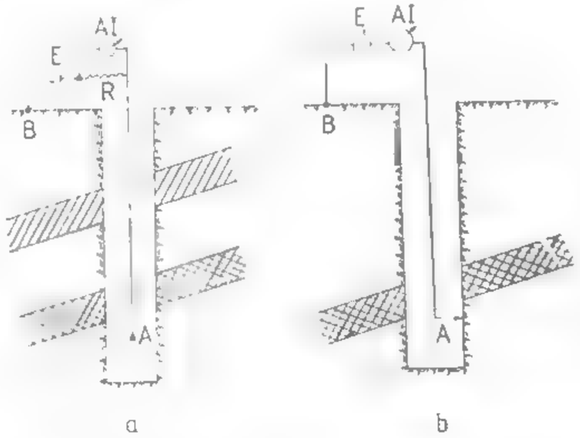


Fig. XIII.4. Schemele principiale de măsurare în metoda carotajului de curent:

a — electrod centrat pe axa sondei; *b* — electrod la peretele sondei (contacte alunecătoare).

Metoda carotajului de curent este indicată în zonele în care există contraste mari de rezistivitate între rocile care compun profilul sondei. Stratele care posedă o rezistivitate mică (zone cu mineralizații, antracite, roci argiloase, zone alterate) se remarcă prin maxime pe curbele carotajului de curent; stratele cu rezistivitate mare (gresii compacte, calcare, roci eruptive) corespund la minime pe curbele carotajului de curent.

Pentru a reduce influența noroiului de foraj din sondă se recomandă aplicarea variantei contactelor alunecătoare. La contactul electrodului cu corpul de minereu sau roca cu rezistivitate foarte mică, rezistența de prizare a electrodului scade brusc și, ca urmare, crește curentul în circuit, ceea ce se înregistrează cu aparatul de măsură. De aceea rocile cu conductibilitate electronică, în special zonele cu minereuri se remarcă prin indicații mărite pe diagrama obținută cu această metodă.

1.1.5. CAROTAJUL ELECTRIC CU MICRODISPOZITIVE SAU MICROCAROTAJUL

Este utilizat în practica cercetărilor geofizice în sonde ca mijloc de separare precisă a straturilor subțiri, de evidențiere a formațiunilor poroase și permeabile și evaluarea proprietăților lor colectoare.

Microcarotajul obișnuit constă în măsurarea rezistivității rocilor cu ajutorul unui dispozitiv cu trei electrozi coliniari, fixați pe o patină izolantă ce freacă pe peretele sondei. Electrozii sînt situați la distanțe egale de 2,5 cm. Cu acest sistem de electrozi se pot realiza două microdispozitive (fig. XIII.5):

- un microdispozitiv potențial $AM_3 = 0{,}05$ m;
- un microdispozitiv gradient $AO = 0{,}0375$ m.

Se înregistrează simultan două curbe de rezistivitate care se raportează la volume mici de rocă situate în imediata vecinătate a peretelui sondei.

În afară de microcarotajul obișnuit, în prezent se utilizează și *microcarotajul cu curenți focalizați* (Microlaterolog) pentru cercetarea sondelor săpate cu noroaie mineralizate (sondele de explorare a sărurilor solubile — sare gemă, săruri de potasiu și magneziu) și a sondelor care traversează roci predominant rezistente (calcare, roci compacte eruptive și metamorfice).

Microcarotajul poate fi utilizat în sondele de minereuri și alte substanțe minerale solide, pentru delimitarea exactă a acestora, localizarea zonelor de fracturi, delimitarea stratelor poroase-permeabile și evaluarea porozității lor. Acestea pot fi strate acvifere care urmează a fi izolate în procesul de deschidere și exploatare a zăcămintelor.

1.1.6. ELECTROMETRIE DE SONDĂ ÎN CURENT CONTINUU

Sondele săpate pentru explorarea minereurilor, care au intersectat sau nu mineralizații, pot fi utilizate pentru măsurători combinate în diferite sisteme pentru rezolvarea următoarelor probleme geologice-miniere:

- prospectarea și evidențierea zonelor mineralizate adînci în spațiul din apropierea sondei;
- detectarea corpurilor de minereu care se găsesc mai jos de talpa sondei;
- determinarea poziției corpurilor de minereu în spațiul dintre sonde și corelarea zonelor mineralizate intersectate în sonde vecine;
- precizarea configurației geoelectrice în spațiul dintre sonde.

Variantele utilizate diferă prin poziția electrozilor de alimentare și de măsură. Sînt trei grupe de procedee de măsurare, care se pot defini convențional, astfel:

Procedeul „sondă-suprafață", în care electrodul de alimentare A este plasat în sondă și măsurarea potențialului sau gradientului de potențial se efectuează la suprafață, după sistemul profilelor liniare (fig. XIII.6).

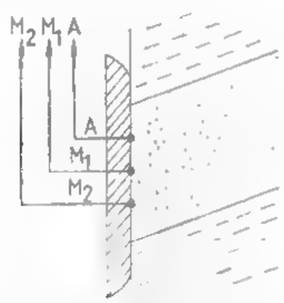


Fig. XIII.5. Schema de principiu a patinei dispozitivului de microcarotaj obișnuit

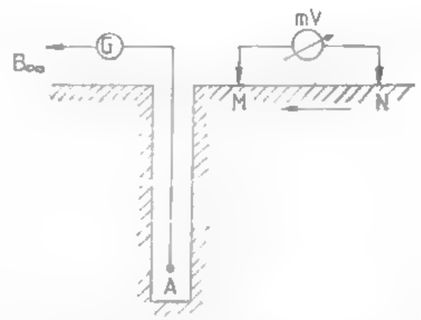


Fig. 6. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-suprafață".

Procedeul „sondă sondă". Unul din electrozii de alimentare se coboară în sondă, iar celălalt se află la suprafață, la mare distanță de sondă ($B\infty$), măsurătoarea efectuîndu-se într-o sondă vecină sau cîteva sonde, situate pe un profil sau profile vecine (fig. XIII. 7). Un caz particular este considerat acela cînd ambii electrozi de alimentare sînt situați în aceeași sondă, formînd un dipol. De asemenea, prezintă interes varianta în care electrozii de alimentare și de măsură din sonde vecine se deplasează sincron.

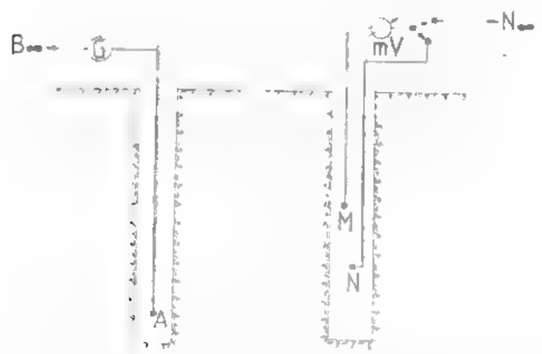


Fig. XIII. 7. Schema principială de măsurare în varianta „sondă-sondă".

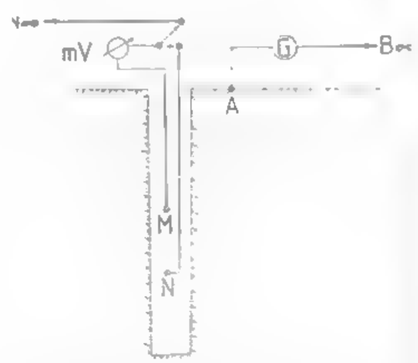


Fig. XIII. 8. Schema principială de măsurare în varianta „suprafață-sondă".

Procedeul „suprafață-sondă". Constă în amplasarea ambilor electrozi de alimentare la suprafață, unul în imediata vecinătate a sondei în care se efectuează măsurătorile, celălalt la mare distanță (fig. XIII. 8). Pentru efectuarea lucrărilor este suficient ca axul de simetrie al dispozitivului de măsurare să se suprapună cu axul sondei.

Procedeele indicate au unele limitări care derivă din particularitățile unei anumite acumulări de substanțe minerale: pe lîngă mineralizația proprinzisă pot apărea și alte corpuri conductoare care corespund zonelor de tectonizare, zonelor puternic transformate hidrotermal sau șisturilor argiloase-grafitoase.

1.2. CAROTAJUL POTENȚIALELOR NATURALE SAU SPONTANE

Rocile posedă proprietatea de a crea, la contactul dintre ele și mai ales la contactul cu fluidul de foraj, un cîmp electric de polarizație naturală. Potențialele electrice naturale sau spontane măsurate în sonde se datoresc următoarelor procese fizico-chimice:

— *procesul de difuzie* a ionilor sărurilor dizolvate în apele de strat în noroiul de foraj sau invers;

— *procesul de adsorbție* selectivă a ionilor de un anumit semn la suprafața particulelor de rocă sau la peretele capilarelor.

Cele două procese menționate sînt de fapt laturi ale procesului complex de difuzie-adsorbție;

— *procesul de filtrație sau curgere* a unui fluid (apă de strat, filtrat de noroi) prin capilarele sau fisurile rocilor traversate de sondă;

— *procesul de oxidare reducere* a unor compuși minerali conținuți de rocile traversate de sondă.

Pentru rocile care interesează în explorarea majorității zăcămintelor de minereuri (roci metamorfice și magmatice), procesele de difuzie-adsorbție sînt de mică intensitate, astfel încît rocile nu se diferențiază între ele. Potențialele de difuzie-adsorbție pot să devină importante atunci cînd zăcămintele de minereuri sînt găzduite de roci sedimentare sau în vecinătatea contactului rocilor sedimentare cu magmatite.

Potențialele de filtrație pot fi întîlnite în sonde în zonele fisurate și în zonele poroase-permeabile cu proprietăți colectoare. La cercetarea zăcămintelor de minereuri cu ajutorul potențialelor spontane măsurate în sonde, componenta de filtrație este considerată o componentă perturbatoare.

Cel mai mare interes pentru cercetarea zăcămintelor de minereuri prezintă potențialele naturale care iau naștere prin procese de oxidare reducere, în fapt, procese electrochimice la limita dintre medii cu conductibilitate electronică (minereuri de cupru, polimetalice, oxizi) și medii cu conductibilitate ionică. În general, intervalele corespunzătoare unor astfel de mineralizații se caracterizează prin anomalii electropozitive pe curbele de PS.

Măsurarea PS și gradientului de PS. Schema principială de măsurare a PS este indicată în fig. XIII.9. Un electrod de măsură M se deplasează de-a lungul sondei și se înregistrează continuu diferența de potențial dintre acesta și un al doilea electrod N de potențial constant, fixat la suprafață. De obicei, curba de PS se înregistrează simultan cu curbele de rezistivitate aparentă, cînd se folosesc dispozitive bipolare.

Curba gradientului de PS se poate înregistra simultan cu curba de rezistivitate cînd se utilizează dispozitive monopolare, sau cu dispozitive separate (fig. XIII.10) la care se schimbă distanța dintre electrozii M și N. În țara noastră, la înregistrarea gradienților de PS s-au utilizează următoarele distanțe dintre electrozii de măsură ai dispozitivului: 0,1, 0,5, 1 și 2 m.

1.3. CAROTAJUL POTENȚIALELOR PROVOCATE

Principial, metoda constă în măsurarea potențialelor de polarizație provocată observabile după întreruperea curentului de excitație pulsat sau semipulsat trimis în mediu.

Potențialele provocate sînt datorate proceselor electrochimice care au loc la limita mediilor cu conductibilitate electronică și ionică și la limita mediilor cu conductibilitate ionică și dielectrice. Intensitatea polarizației provocate se caracterizează prin mărimea

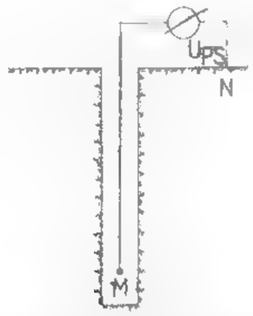


Fig. XIII.9 Schema principială de măsurare a PS.

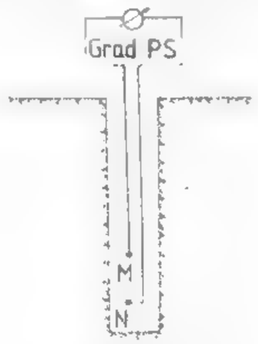


Fig. XIII.10 Schema principială de măsurare a gradientului de PS.

numită *polarizabilitate*. Polarizabilitatea rocilor depinde de porozitate, umiditate, concentrația sărurilor dizolvate în apa din pori, conținutul în minerale conductoare, dimensiunile particulelor de rocă. În absența mineralelor conductoare polarizabilitatea este mică nedepășind 1—2%.

Mineralele cu conductibilitate electronică prezente în rocă modifică în mod esențial polarizabilitatea. S-a constatat, de exemplu, că sulfuri disperse, chiar în proporție de 1% din volumul rocii, determină creșterea polarizabilității la 2—3%.

Carotajul potențialelor provocate poate fi aplicat în două variante:

a) măsurători cu folosirea unei sonde (electrozii de polarizare și de recepție în aceeași sondă);

b) măsurători cu folosirea a două sonde (electrodul de alimentare fixat în o sondă și electrozii de recepție deplasați în altă sondă).

Carotajul potențialelor provocate s-a dovedit util în evidențierea și localizarea zăcămintelor de minereuri diseminate și masive, corelarea zonelor de minereu (mai ales în cazul mineralizațiilor de impregnație) întîlnite în mai multe sonde, cercetarea unui domeniu geologic dintre sonde.

1.4. CAROTAJUL RADIOACTIV

Metodele de carotaj radioactiv ocupă în prezent un loc important în investigarea sondelor săpate pentru substanțe minerale utile solide, furnizînd informații care nu se pot obține cu alte metode de cercetare a sondelor.

1.4.1. CAROTAJUL RADIAȚIEI GAMA NATURALE

Constă în măsurarea variației radioactivității naturale a rocilor condiționată de conținutul în radioelemente aparținînd seriilor radioactive ale uraniului ($_{92}U^{238}$, $_{92}U^{235}$)

thoriului ($_{90}Th^{232}$) precum și izotopului radioactiv al potasiului ($_{19}K^{40}$). O contribuție mai mică o au rubidiul și cîteva elemente din seria pămînturilor rare.

Radiațiile gama emise de radioelementele naturale diferă atît ca număr cît și ca energie caracteristică. Spectrul energetic permite identificarea, cu mare precizie, a elementului existent în rocă.

În funcție de tipul lor, radioactivitatea naturală a rocilor variază în limite largi. Dintre rocile magmatice, cele acide au cea mai mare radioactivitate, în timp ce rocile bazice și ultrabazice au un nivel mai scăzut de radioactivitate. Rocile sedimentare prezintă radioactivități variabile. Gresiile și nisipurile au radioactivități foarte scăzute în timp ce argilele prezintă radioactivități mari datorită atît conținutului în potasiu cît și adsorbției radioelementelor din apele mineralizate. Foarte radioactive sînt argilele bitumoase datorită afinității preferențiale a radioelementelor față de coloizii organici. Rocile carbonatice (calacre și dolomite) au o radioactivitate scăzută.

Cărbunii și depozitele hidrochimice (gips, anhidrit, sare) au cea mai mică radioactivitate. Dintre depozitele hidrochimice fac excepție sărurile de potasiu (silvină, carnalit, kainit, polihalit, langbeinit) care prezintă radioactivități mari. De asemenea, se întîlnesc în practică sirate de cărbuni radioactivi.

Schema principială de măsură a carotajului gama este prezentată în fig. XIII.11. În aparatul de sondă se plasează un detector de radiații gama (*D*), care poate fi de tip Geiger-Müller sau de scintilație, și se înregistrează variația radioactivității în profilul traversat.

Carotajul gama servește în primul rînd ca metodă de diferențiere litologică a rocilor și de corelare la scară locală sau regională.

În sondele săpate pentru minereuri, carotajul gama asigură, pe de o parte, diferențierea rocilor magmatice de cele metamorfice și sedimentare, iar pe de altă parte, în cadrul rocilor magmatice separarea rocilor acide de cele bazice și ultrabazice.

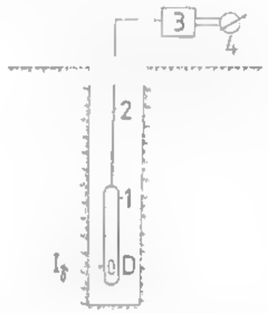


Fig. XIII.11. Schema principială de înregistrare a radiației gama naturale:

1 — dispozitivul de sondă; *2* — cablu; *3* — sistem de prelucrare a semnalului; *4* — aparat înregistrator.

1.4.2. CAROTAJUL RADIAȚIEI GAMA DISPERSATE

Metoda este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama* și constă în iradierea formațiunilor traversate cu un flux de radiații gama și înregistrarea radiației gama rezultat ca efect al interacțiunii cu mediul, așa-numita *radiație gama dispersată*.

Radiația gama rezultată este o funcție de numărul atomic *Z* al substanței traversate și de energia radiației gama incidente. Cînd se folosesc surse de radiații gama de energie ($E = 0{,}6 - 1{,}5$ MeV), radiația gama dispersată înregistrată este o funcție de densitatea formațiunilor. De aceea, acest tip de carotaj mai este cunoscut și sub denumirea de *carotaj gama-gama de densitate*. Dacă se folosesc surse de radiații gama cu energie mică, intensitatea radiației gama înregistrate depinde în cea mai mare măsură de absorbția radiației gama prin efect fotoelectric. Acest efect crește foarte mult la creșterea numărului atomic al elementelor conținute în mediu; elemente ca Bi, W, Pt, Au, Ag, Pb, Hg au o influență asupra răspunsului metodei. Deoarece pe această bază este posibil să se [illegible] din profil cu conținut în astfel de elemente, varianta de carotaj în care

se utilizează surse gama de energie mică este cunoscută sub denumirea de *carotaj gama-gama de densitate*.

Măsurarea radiației gama dispersate în gaura de sondă este realizată cu ajutorul unui dispozitiv presat pe peretele sondei în care detectorul și sursa de radiații mai sînt separate de un ecran de plumb pentru absorbția radiației gama directe (fig. XIII.12). Sursele de radiații gama folosite sînt: Co^{60} și Cs^{137} în carotajul gama-gama de densitate și Se^{75} în carotajul gama-gama selectiv.

Carotajul gama-gama selectiv aplicat în paralel cu carotajul gama-gama de densitate poate furniza informații utile la cercetarea sondelor săpate pentru minereuri de fier, mangan, cupru, nichel, crom, wolfram, molibden și sulfuri polimetalice.

1.4.3. CAROTAJUL NEUTRON-GAMA

Carotajul neutron-gama constă în bombardarea rocilor traversate de sondă cu neutroni și măsurarea intensității radiației gama de captură a neutronilor de către anumite elemente chimice conținute în rocă.

Captura neutronilor de către atomii substanței prin care trec are loc, în majoritatea cazurilor, la energii termice ale neutronilor.

Intensitatea radiației gama de captură depinde de conținutul în hidrogen al mediului și de distanța sursă-detector (lungimea dispozitivului). Pentru dispozitivele utilizate în practică, rocile cu conținut mic în hidrogen (rocile compacte magmatice, metamorfice și sedimentare) se manifestă prin valori mari, iar rocile cu conținut mare în hidrogen (rocile poroase, fisurate saturate cu fluide, rocile argiloase, rocile alterate) prin valori mici pe curbele neutron-gama.

O importantă captură a neutronilor se constată la traversarea intervalelor cu sare. Aceasta se explică prin secțiunea mare de captură a atomului de clor pentru neutroni termici (33 barni), la care se adaugă secțiunea de captură a sodiului (0,5 barni).

Neutronii pot fi puternic captați și de rocile care conțin bor, litiu, cadmiu, cobalt, mangan, vanadiu ș.a., elemente care au, de asemenea, secțiune mare de captură.

Măsurarea radiației gama de captură se realizează cu ajutorul unui aparat de sondă care cuprinde sursa de neutroni și detectorul de radiații. Cele două elemente sînt separate de un ecran de plumb (fig. XIII.13).

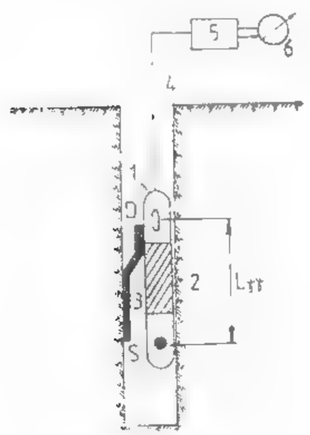


Fig. XIII.12. Schema principială a carotajului gama-gama:

1 — dispozitivul de sondă; *2* — ecran de plumb; *3* — patina de presare pe peretele sondei; *4* — cablu; *5* — sistem de prelucrare a semnalului; *6* — aparat înregistrator.

Ca surse de neutroni se folosesc:

a) *surse izotopice* — amestecuri de Ra, Po, Pu, Am cu Be. Primele joacă rol de emițători de radiații alfa cu care se bombardează beriliul, din reacția nucleară care are loc rezultînd neutroni. O sursă izotopică particulară este Cf^{252} care emite neutroni prin fisiune spontană cu un flux foarte mare. Datorită fluxului mare de neutroni și foarte stabil, timpului de înjumătățire mare ($T = 265$ ani), californiul este o sursă ideală în carotajul radioactiv, mai ales în carotajul activării;

b) *generatori de neutroni*, acceleratori de particule în care producerea neutronilor are la bază reacția nucleară între izotopii grei ai hidrogenului (deuteriu și tritiu).

Folosirea generatorilor ca surse de neutroni elimină dependența mărimii măsurate de variația fluxului de neutroni al sursei, așa cum se întîmplă la sursele izotopice. În plus, generatorii de neutroni pot fi construiți să lucreze în regim de impulsuri.

Carotajul neutron-gama rezolvă problema separării rocilor din profilul sondei după conținutul lor în hidrogen, fiind o măsură a porozității totale a rocilor.

Se aplică la cercetarea sondelor de minereuri, cărbuni și săruri minerale; înregistrarea spectrului radiației gama de captură dă posibilitatea utilizării metodei pentru determinarea și evaluarea diferitelor tipuri de minerale utile.

1.4.4. CAROTAJUL NEUTRON-NEUTRONIC

Carotajul neutron-neutronic constă în bombardarea formațiunilor traversate de sondă cu neutroni și înregistrarea neutronilor, cu un anumit nivel de energie, care ajung la detector.

În funcție de energia neutronilor înregistrați se disting două variante ale carotajului neutron-neutronic:

carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici;

carotajul neutron-neutronic cu neutroni epitermici (supratermici).

În *carotajul neutron-neutronic cu neutroni termici* se înregistrează neutroni ajunși la energie termică în interacțiunea cu mediul. Densitatea de neutroni termici este determinată de conținutul în hidrogen al formațiunii, mineralizarea apelor de strat, în special conținutul în clor și alte elemente care se comportă ca absorbanți puternici pentru neutroni termici.

Răspunsul *carotajului neutron-neutronic cu neutroni epitermici* este condiționat deosebi de conținutul în hidrogen al mediului și nu depinde practic de mineralizarea apelor de strat. Astfel, carotajul nn-e oferă o cale deosebit de favorabilă pentru evaluarea cantitativă a porozității rocilor.

Densitatea fluxului de neutroni epitermici poate fi influențată de proprietățile de captură ale mediului numai în cazul cînd acesta conține elemente cu secțiune mare de captură în domeniul energiilor supratermice cum ar fi: Li, B, Mn, Co, Ag, Cs, Ir, Au, Hg ș.a.

Măsurarea fluxului de neutroni termici și epitermici se realizează prin introducerea în sondă a unui dispozitiv în care se plasează sursa (*S*) și detectorul de neutroni (*D*) (fig. XIII.14). În carotajul neutron-neutronic, ca detectori de neutroni se folosesc contori cu gaz (contori proporționali) sau contori cu scintilații. Ambele tipuri de contori conțin bor.

La cercetarea sondelor de explorare a substanțelor minerale utile solide, carotajul neutron-neutronic este inclus în programele de investigare pentru minereuri, în special pentru cele cu elemente cu secțiune mare de captură, cărbuni și săruri minerale.

1.4.5. CAROTAJUL FOTONEUTRONIC

Carotajul fotoneutronic, denumit și *carotaj gama-neutronic* constă în bombardarea rocilor cu radiații gama și măsurarea densității neutronilor care se produc în roci în urma interacțiunii radiației gama cu anumite elemente. Reacția fotoneutronică are loc numai

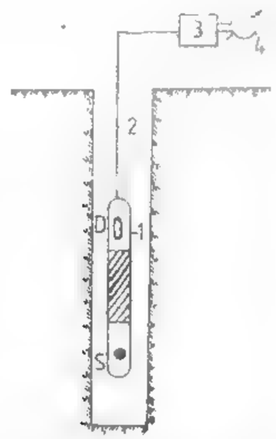


Fig. XIII.13. Schema principială a carotajului neutron-gama:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — cablu; 3 — sistem de prelucrare a semnalului; 4 — aparat înregistrator.

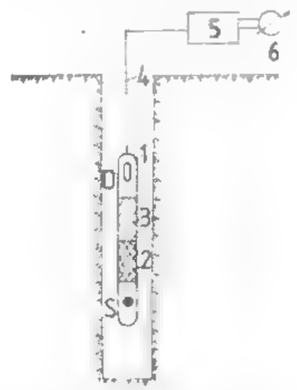


Fig. XIII. 14. Schema principială a carotajului neutron-neutronic:

1 — dispozitivul de sondă; 2 — ecran de plumb; 3 — ecran pentru neutroni; 4 — cablu; 5 — sistem de prelucrare a semnalului; 6 — aparat înregistrator.

dacă energia cuantelor gama depășește energia de prag, numeric egală cu energia de legătură a neutronilor în nucleu. Pentru majoritatea elementelor energia de prag este cuprinsă în domeniul 8 — 16 MeV, cu excepția beriliului și deuteriului care au energii de prag relativ mici, egale, respectiv cu 1,63 și 2,23 MeV.

În practică, metoda este utilizată pentru detectarea și evaluarea beriliului din roci.

Aparatul de sondă este analog cu cel utilizat pentru carotajul gama-gama, cu deosebirea că se utilizează detector de neutroni. Ca sursă de radiații gama se folosește Sb^{124}.

Metoda s-a dovedit a fi foarte sensibilă, chiar la conținuturi relativ mici ale beriliului în roci

1.4.6. CAROTAJUL ACTIVĂRII NEUTRONICE

Carotajul activării neutronice are la bază fenomenul că la bombardarea rocilor traversate cu un flux de neutroni, anumite elemente care intră în compoziția rocilor și mineralelor devin radioactive, se activează. Ceea ce se măsoară este radiația gama emisă de nuclizii radioactivi formați din izotopi stabili.

Izotopii radioactivi formați în mediu la iradierea cu neutroni au un timp de înjumătățire relativ scurt, de la cîteva secunde la cîteva ore. Energia radiațiilor gama emise - radiația gama de activare — diferă de la un element la altul, fiind o mărime caracteristică.

Principial, dacă se cunosc timpii de înjumătățire ai izotopilor formați, intensitatea și, eventual, spectrele radiației gama emise, se pot determina elementele inițiale din care iau naștere acești izotopi. Cunoscînd elementele din mediu care au fost activate se pot trage concluzii asupra compoziției mineralogice a mediilor din profilul sondei.

Timpul de iradiere cu neutroni și momentul înregistrării radiației gama de activare trebuie să fie selectate în mod corespunzător, pentru a crea activitatea maximă posibilă a elementului căutat pe un fond cît mai mic produs de alte elemente.

Carotajul de activare neutronică se aplică în două variante de bază:

a) *carotajul activării continue*, utilizat pentru studierea elementelor din care se formează izotopi radioactivi cu timp de înjumătățire scurt ($_{13}Al^{28}$, $T = 2{,}27$ min; $_{23}V^{52}$, $T = 3{,}9$ min; $_{19}F^{20}$, $T = 12$s) și la evaluarea conținutului elementelor cu secțiune mare de activare în roci și minerale;

b) *carotajul activării în stații (puncte)*, utilizat la studierea elementelor care dau naștere la izotopi cu timp de înjumătățire lung, de ordinul orelor ($_{25}Mn^{56}$, $T = 2{,}6$ ore) sau la detectarea elementelor cu secțiune mică de activare.

Carotajul activării se efectuează, de regulă, pe intervale selectate din profilul sondei; alegerea acestor intervale se face după diagrafia geofizică efectuată în prealabil în sondă cu alte procedee carotaj. Pe intervalele alese este necesar să se cunoască radioactivitatea naturală a rocilor, lucru posibil prin efectuarea unui carotaj gama înainte de bombardarea rocilor cu neutroni.

Metoda activării se poate utiliza fie urmărind formarea unui izotop radioactiv al elementului de cercetat, fie formarea unui alt element genetic legat de elementul căutat. Un exemplu tipic este activarea argintului pentru zăcămintele auro-argentifere, cu posibilitatea de evaluare ulterioară a aurului.

1.4.7. CAROTAJUL FLUORESCENȚEI X

Fluorescența X constituie un fenomen care oferă posibilitatea analizei elementale realizate pe probe de roci (carote), pe suprafața rocilor în aflorimente sau galerii, în sonde (carotajul fluorescenței X), în fluxul de preparare al minereurilor, în concentrate.

Metoda are la bază fenomenul de excitare a radiației X caracteristice elementului căutat; această excitare se poate produce cu ajutorul radioizotopilor care emit radiații alfa, beta, X și gama. În urma excitării atomului de către radiația primară are loc expulzarea unor electroni din stratele interioare K, L, M etc., iar locul liber va fi ocupat imediat de electronii unor strate exterioare. Tranzițiile electronice pun în joc nivele energetice bine definite și sînt însoțite de radiații secundare care se plasează în domeniul radiațiilor X. Această radiație secundară se numește de *fluorescență*, deoarece este caracterizată prin lungimi de undă mai mari decît ale radiației primare incidente. Lungimea de undă a radiațiilor X variază în funcție de numărul atomic Z al elementului emițător și constituie baza identificării precise a acestuia.

Sursele de radiații X sau gama folosite în prezent acoperă un domeniu larg de energii pentru excitarea spectrului caracteristic al multor elemente. Excitarea optimă este obținută cînd se folosește o radiație monocromatică avînd o energie imediat deasupra limitei de absorbție a elementului de analizat.

În general, pentru detectarea radiațiilor X se utilzează contoare cu scintilații contoare proporționale și detectoare cu cristale semiconductoare, asigurînd o cît mai bună rezoluție energetică.

Metoda de fluorescență X este aplicabilă pentru detectarea și evaluarea unui număr important de elemente : Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Mo, Ag, Sn, W, Au, U.

Combinarea unui sistem de fluorescență X cu un dispozitiv de carotaj gama-gama selectiv s a dovedit utilă în practica de teren (Clayton, 1969). Prin carotajul gama-gama selectiv se identifică rapid zonele cu conținut mare în substanțe utile care pot fi apoi examinate cu o mai mare acuratețe și specificitate cu metoda fluorescenței X.

1.4.8. SPECTROMETRIA RADIAȚIILOR GAMA ÎN CAROTAJ

Spectrul energetic al radiațiilor gama naturale sau provocate în urma bombardării cu neutroni reflectă particularități individuale ale structurii atomice a elementelor care le emit, constituind unul din cele mai sigure mijloace de identificare a lor.

Spectrul de radiații gama care interesează în carotajul radioactiv este cuprins, în general, în domeniul 0 9 MeV. În acest domeniu, spectrul radiației gama naturale nu depășește 2,6 MeV, în timp ce spectrul radiației gama de captură se extinde pînă la valori apropiate de 9 MeV.

De un interes major în carotajul radioactiv este spectrometria radiației gama naturale care permite identificarea elementelor ce contribuie la crearea radioactivității naturale pe diferite nivele de energie și evaluarea conținutului rocilor în elemente radioactive în termeni de uraniu, thoriu sau potasiu.

În spectrul radiației gama naturale principalele radioelemente se identifică după energii caracteristice.

O atenție deosebită se acordă spectrelor radiației gama provocate la bombardarea rocilor cu neutroni , mai ales spectrului radiațiilor gama de activare datorită aplicării pe scară largă a carotajului activării la cercetarea sondelor de explorare a minereurilor de Al, Cu, Mn, V, Mg, Fe, Ni, Cr ș.a.

Deosebit de promițătoare este metoda de analiză folosind spectrometria radiațiilor X de fluorescență. Sînt menționate rezultate bune pentru Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, La, Ce (Pop și Constantinescu, 1976) .

1.5. CAROTAJUL ACUSTIC

Carotajul acustic are la bază diferențierea rocilor din punct de vedere al vitezei de propagare a undelor elastice și al atenuării acestor unde cu distanța. Pe această bază carotajul acustic se aplică în două variante .

carotajul acustic de viteză și,

carotajul acustic de atenuare.

La investigarea sondelor pentru substanțe minerale solide se aplică îndeosebi carotajul acustic de viteză, ale cărui principii sînt prezentate în cele ce urmează.

Măsurătorile efectuate în carotajul acustic de viteză sînt de fapt măsurători de timp . Principial, cu ajutorul unui emițător se produce în gaura de sondă o undă elastică și se înregistrează timpul necesar undei, de regulă unda longitudinală (compresională) să ajungă la un receptor situat la o anumită distanță sau să parcurgă un anumit traseu situat între doi receptori. Cel mai scurt timp de parcurs între emițător (E) și receptoare (R_1, R_2) se înregistrează pe traiectul undei refractate la limita sondă — formațiune (fig. XIII.15). Ceea ce se măsoară este diferența timpilor de sosire ai undei compresionale la receptorul îndepărtat (R_2) și receptorul apropiat (R_1).

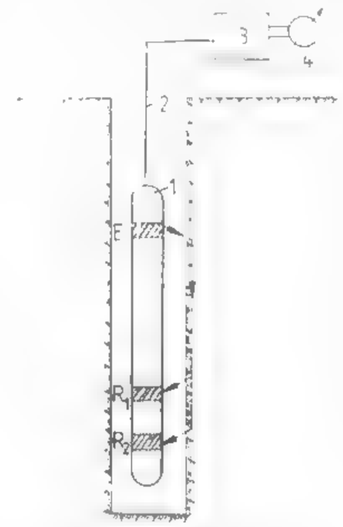


Fig. XIII.15. Schema principială a carotajului acustic :

1 — dispozitivul de sondă ; 2 — cablu ; 3 — blocul de prelucrare a semnalului ; 4 — aparatul înregistrator.

La folosirea dispozitivelor de carotaj acustic de viteză cu două receptoare, influența drumului parcurs de unda elastică prin noroiul de foraj este eliminată. Altfel spus, natura noroiului de foraj nu are nici o influență asupra carotajului acustic.

Distanța între cele două receptoare poartă denumirea *de bază de măsură* (l) și determină rezoluția verticală a dispozitivului de carotaj acustic. Se utilizează frecvent dispozitive cu bază de măsură $l = 0{,}9$ m.

Semnalul măsurat în carotajul acustic de viteză obișnuit este influențat de variația diametrului găurii de sondă. Pentru a exclude complet această influență s-au introdus dispozitivele de carotaj acustic compensat.

Metoda carotajului acustic de viteză se utilizează ca mijloc de evaluare a porozității rocilor, la cercetarea sondelor de explorare a cărbunilor și sărurilor minerale (sare gemă, săruri de potasiu).

1.6. CAROTAJUL MAGNETIC

Carotajul magnetic are la bază studiul variației proprietăților magnetice ale rocilor străbătute de sondă. Se aplică frecvent în două variante

carotajul de susceptibilitate magnetică și

carotajul de cîmp magnetic.

De regulă, carotajul de susceptibilitate magnetică este efectuat simultan cu carotajul de cîmp magnetic. Cele două tipuri de carotaje aplicate la cercetarea sondelor

explorare pentru minereuri pot asigura :

— caracterizarea din punct de vedere geologic a formațiunilor traversate de sondă ;

— evidențierea și localizarea diferitelor tipuri de minereuri ;

– detectarea corpurilor de minereuri intersectate de sondă sau care rămîn în apropierea sondei ori sub nivelul tălpii sondei ;

- determinarea conținutului în minerale feromagnetice în acele cazuri cînd între acestea și susceptibilitatea magnetică există o dependență clară.

În țara noastră se aplică cel mai mult carotajul de susceptibilitate magnetică în varianta gradient, care asigură cu precizie detectarea și delimitarea mineralizațiilor feromagnetice.

1.7. CAVERNOMETRIA

Operația de cavernometrie are rolul de a stabili variația reală a diametrului găurii de sondă în raport cu diametrul nominal al sapei, ca rezultat al acțiunii combinate a fluidului de foraj, sapei și garniturii de prăjini asupra stratelor traversate. Variațiile de diametru pot fi puse în legătură cu natura litologică a formațiunilor.

Cavernometria obișnuită este efectuată cu cavernometre cu brațe expandabile, de tip patină sau tip lame elastice.

Fig. XIII.16. Schema cavernometrului sonic (după Dawson-Grove).

O importanță particulară în geologia minieră o are *cavernometria sonică* destinată înregistrării profilelor cavernelor în masivele de sare exploatate prin sonde, înregistrarea profilelor sondelor de diametru mare (puțuri de mină) și cavernelor de depozitare subterană formate prin dizolvare în sare.

Cavernometria sonică are la bază următorul principiu : un puls sonor este emis de la un transmițător și se înregistrează timpul necesar sunetului să atingă peretele cavernei și să fie recepționat la același traductor care acționează acum ca receptor. Timpul necesar de parcurs este o măsură a distanței pînă la peretele cavernei.

Dispozitivul de sondă constă dintr-un traductor plasat la capătul unui braț care se deplasează din poziție verticală în poziție orizontală, permițînd emisia-recepția pulsurilor continuu, pe peretele sondei, de la orizontală la verticală (Dawson-Grove 1969) (fig. XIII.16). În general, pentru o anumită poziție a traductorului se execută o citire la fiecare 4° de rotație a aparatului. Secțiunea superioară a dispozitivului conține o celulă pentru măsurarea „in situ" a vitezei sunetului în mediul în care este lansat dispozitivul. Din măsurarea timpului de parcurs și vitezei în fluid se calculează distanța de la dispozitiv la peretele cavernei.

Pentru fiecare nivel de adîncime se obține imaginea secțiunii transversale a cavernei ; prin asamblarea tuturor imaginilor se obține configurația reală a cavernei (golul de dizolvare).

2. APLICAREA CAROTAJULUI GEOFIZIC PENTRU IDENTIFICAREA ȘI EVALUAREA ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE SOLIDE

În aplicarea carotajului geofizic pentru identificarea și evaluarea substanțelor minerale solide, plecînd de la condițiile geologice ale zonei de cercetat și proprietățile fizice ale minereurilor și substanțelor minerale ce prezintă interes practic, programul optim poate fi stabilit numai în urma unor lucrări experimentale în condiții de sondă. Se urmărește caracterizarea metodelor aplicate după capacitatea lor de rezoluție privind separarea principalelor tipuri de roci, evidențierea substanțelor utile, delimitarea exactă a acestora, obținerea datelor inițiale pentru caracterizarea structurii minereului și evaluarea cantitativă a conținutului în substanță utilă.

Varietatea foarte mare de minereuri și substanțe utile, precum și de condiții geologice în care acestea se întîlnesc, determină programe de investigare diferite care nu pot fi generalizate. Aceste programe de investigare trebuie să cuprindă metode care să permită pe de o parte, caracterizarea naturii principalelor tipuri de roci și, pe de altă parte, identificarea și separarea principalelor substanțe utile solide.

În cele ce urmează, vor fi date cîteva exemple pe tipuri de mineralizații și substanțe.

2.1. MINERALIZAȚII DE METALE FEROASE

Din această categorie, un loc important îl ocupă minereurile de fier și mangan ; la acestea se adaugă minereurile de crom, titan, nichel, vanadiu, cobalt, molibden și wolfram.

Minereurile de fier, de mai multe tipuri, se caracterizează prin compoziție mineralogică, condiții de formare și alte particularități diferite.

Pentru identificarea și evaluarea minereurilor magnetitice, datorită susceptibilității magnetice mari, procedeul de carotaj geofizic care se recomandă de la sine este carotajul magnetic de susceptibilitate, indiferent de tipul genetic al minereului. Diagrama carotajului de susceptibilitate magnetică de tip gradient-înregistrată într-o sondă de pe zăcămîntul de la *Palazu Mare* (fig. XIII.17) — ilustrează, pe de o parte, delimitarea sigură a zonelor mineralizate în raport cu șisturile cristaline intercalate, iar pe de altă parte, separarea zonelor mai bogate de cele mai sărace în magnetit.

Carotajele electrice și radioactive aplicate în zonă aduc unele informații cu privire la formațiunile traversate, fără să ofere criterii sigure de identificare a mineralizației în raport cu calcarele și șisturile cristaline. Astfel, carotajul radiației gama naturale permite plasarea limitei dintre calcare și complexul cristalin prin creșterea nivelului de radioactivitate, iar zonele mineralizate mai bogate identificate pe carotajul de susceptibilitate magnetică se manifestă prin minime pe curbele carotajului gama-gama de densitate. Minimele înregistrate pe curbele de rezistivitate aparentă atît în complexul calcarelor cît și în complexul cristalin sînt de regulă asociate cu zone de fisurare-fracturare sau chiar zone de faliere.

Un alt exemplu este oferit de diagrafia geofizică complexă efectuată în zona *Băișoara* (fig. XIII. 18). Mineralizațiile de fier (magnetit) sînt identificate în primul rînd pe

curbele de carotajmagnetic și se diferențiază de corpurile de sulfuri polimetalice. Rocile adiacente sînt reprezentate de calcare, banatite și skarne. Atît zonele mineralizate cu magnetit cît și cele cu sulfuri se caracterizează prin valori minime evidente pe curba gama-gama, rezistivitate mică și PS electropozitiv. PS-ul electropozitiv este caracteristic îndeosebi sulfurilor. Rezistivitatea mică și relativ constantă sugerează existența unor minereuri de tip masiv. O informație deosebit de utilă obținută din diagrafia radioactivă gama este limita între calcare și banatite, acestea din urmă fiind caracterizate printr-o radioactivitate ridicată.

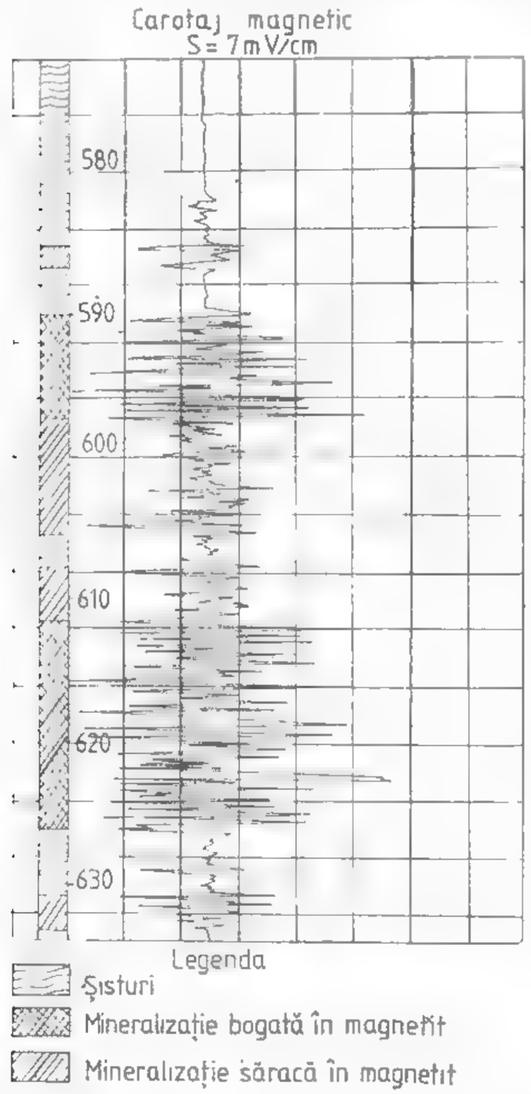


Fig. XIII.17. Carotaj magnetic într-o sondă de explorare din zona *Palazu Mare-Dobrogea* (după IFLGS).

Interpretarea complexă a diagrafiei geofizice înregistrate a permis să se identifice și unele zone cu mineralizație dispersă.

Minereurile de fier hematitice, limonitice și sideritice fiind slab magnetice nu pot fi evidențiate prin carotajul magnetic. În acest caz principalele metode de carotaj geofizic care se recomandă aparțin carotajului radioactiv (gama, gama-gama, neutron-gama). Cea mai bună rezoluție o are carotajul radiației gama dispersate în varianta carotajului de densitate sau selectiv aceasta se bazează pe faptul că zonele mineralizate au densitatea și numărul atomic efectiv mai mari decît rocile adiacente.

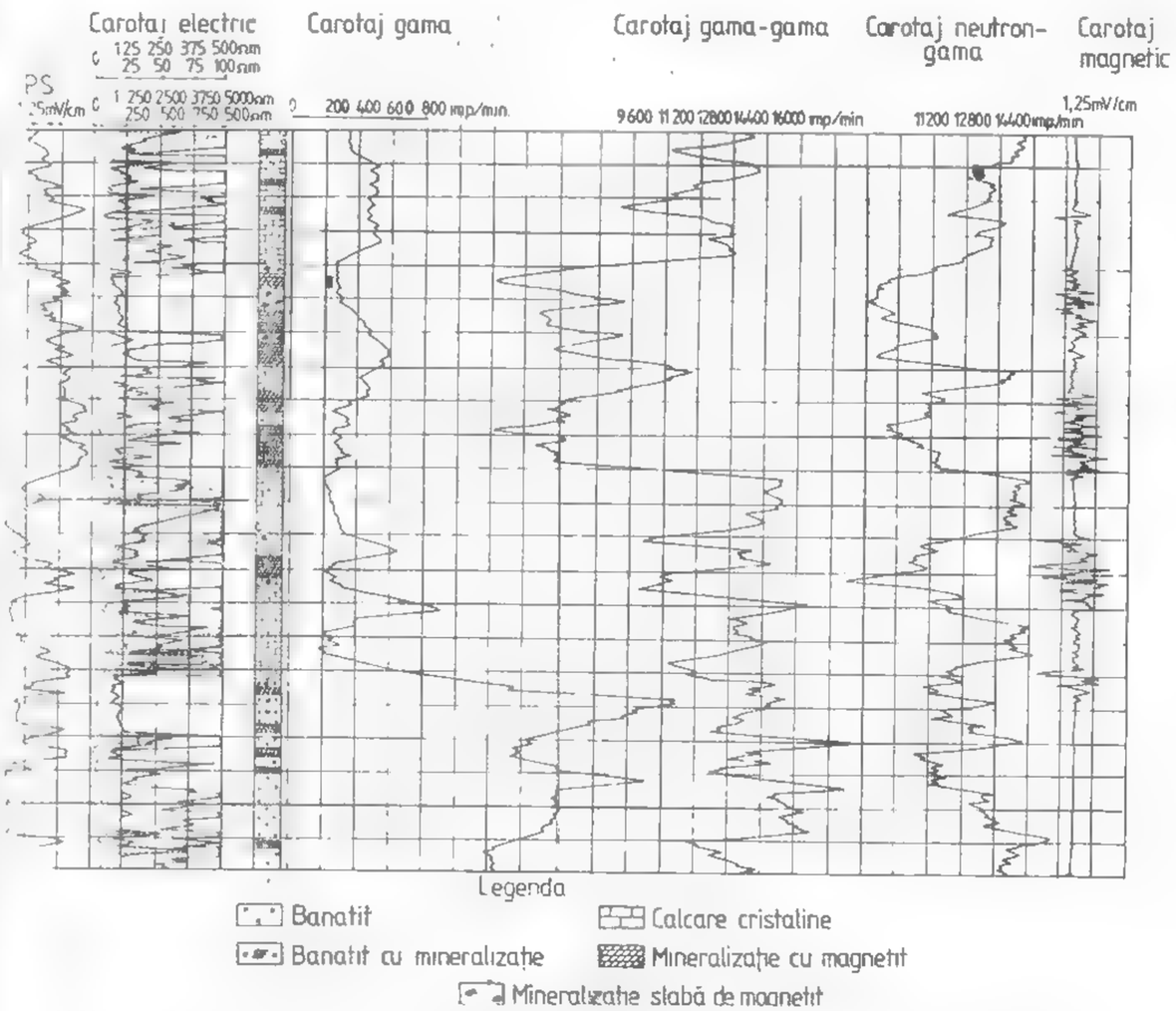
Un exemplu de localizare a unui corp sideritic în aglomerate andezitice pe baza minimului înregistrat în carotajul gama-gama de densitate este prezentat în fig. XIII.19 pentru o sondă din zona *Mădăraș*. Interpretarea dată este confirmată și prin minimul înregistrat pe curba radiației gama naturale și maximul pe curba neutron-gama, aceasta din urmă indicînd o zonă compactă

În aceeași sondă, pe baza carotajului geofizic s-a putut plasa cu precizie limita între aglomeratele andezitice și calcarele inferioare; această limită este controlată pe toate curbele înregistrate (PS, gama, gama-gama și neutron-gama). În această zonă sideritele se manifestă prin maxime pe curbele de rezistivitate în raport cu aglomeratele andezitice

Uneori intercalațiile sideritice și ankeritice, cum este cazul zăcămintelor din zona *Ghelar* și *Teliuc*, se manifestă prin minime în raport cu calcarele adiacente. În prezența

magnetitei dispersate, minereurile de fier de tip carbonatic pot fi identificate prin carotajul magnetic.

Identificarea mineralizațiilor de fier poate fi făcută și pe cale indirectă, prin activarea manganului, întotdeauna întîlnit în asociație cu fierul. Rezultate bune au fost obținute pe zăcămintele de tip *Poiana Ruscă* și tip *Harghita* (Iordache, 1965).



XIII.18. Diagrafie geofizică complexă pentru mineralizații de fier și sulfuri în zona *Băișoara* (după IFLGS).

Una din problemele importante ale investigării geofizice a sondelor pentru minerii, în general, este evaluarea conținutului în substanță utilă.

În principiu, pentru evaluarea conținutului de substanță utilă din minereu se utilizează datele acelei metode de carotaj geofizic pentru care se constată cea mai strînsă

dependență între valorile înregistrate și variația conținutului de substanță utilă. Stabilirea relației de dependență între răspunsul unei anumite metode de carotaj geofizic și conținutul în substanță utilă pentru un zăcămînt, dat se face pe baza analizei unui număr reprezentativ de probe de minereu. După stabilirea curbei de dependență poate fi rezolvată problema inversă a determinării conținutului de substanță utilă pentru cazurile cînd se dispune numai de carotajul geofizic.

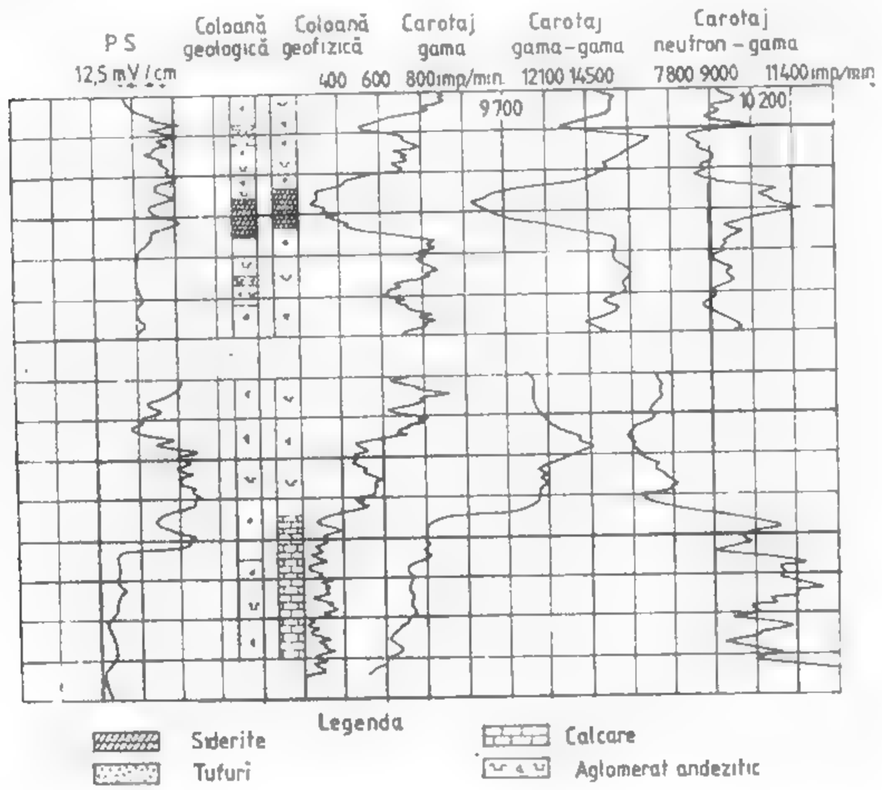


Fig. XIII.19. Localizarea corpurilor de siderite din zona *Mădăraș* după diagrafia geofizică (după IFLGS).

Cele mai favorabile metode pentru evaluarea conținutului de fier din minereuri de orice tip sînt metodele radioactive gama-gama de densitate și selectiv, neutronice și spectrometria radiațiilor gama de captură ; unele din procedeele elaborate au aplicabilitate practică limitată.

Rezultate notabile în acest sens au fost obținute de *Iordache* (1965) pe diferite zăcăminte sau iviri de fier din țara noastră. Experiența obținută ar trebui să fie extinsă și să capete un caracter sistematic atît pentru fier cît și pentru alte substanțe minerale utile solide.

Minereuri de mangan. Evidențierea mineralizației și evaluarea conținutului cantitativ al manganului se pot face cu ajutorul carotajului neutron-neutronic cu neutroni termici și carotajului activării. Aceasta are la bază secțiunea mare de captură a manganului pentru neutroni termici și formarea izotopului radioactiv Mn^{56} ($T = 2{,}6$ ore) din izotopul stabil Mn^{55}, în urma reacției nucleare cu neutroni termici ${}_{25}Mn^{55}$ (n, γ) ${}_{25}Mn^{56}$.

Izotopul Mn^{56} poate lua naștere și prin reacția Fe^{56} (*n*, *p*) Mn^{56}, dar la iradierea formațiunilor cu neutroni rapizi. Un exemplu de carotaj de activare a manganului este prezentat în fig. XIII.20, într-o sondă de explorare pe zăcămintele de fer de tp *Hărghita*

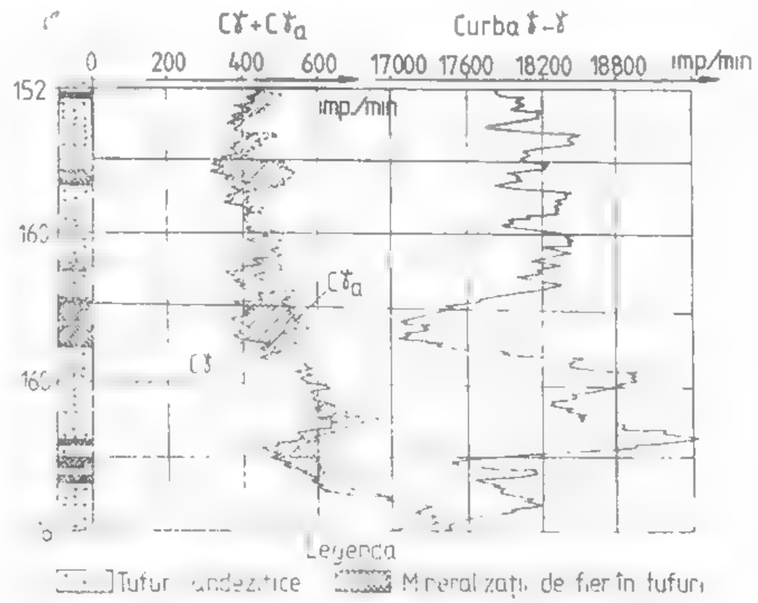


Fig. XIII.20. Carotaj de activare pentru identificarea manganului în mineralizații de fier de tip *Harghita* (după Iordache).

Iordache, 1965). Uzual, carotajul de activare pentru mangan se efectuează prin măsurări în stații. O construcție specială a dispozitivului de sondă și viteza mică de înregistrare (4 – 16 m/oră) au permis un carotaj de activare continuu, ca în exemplul prezentat mai sus. Aici activarea manganului a fost folosită ca metodă indirectă de identificare a zonelor de mineralizații de fier.

Vanadiul rareori formează zăcăminte propriu zise. Se pote întîlni în asociație cu rocile bazice (magnetite titanifere legate de gabrouri) și ultrabazice, în produse de alterare chimică (argile, bauxite, fosfați, limonit) și în zonele de oxidare ale minereurilor de plumb, zinc și cupru (Petrulian, 1973). În multe cazuri este asociat cu minereurile de uraniu (carnotita).

În sonde, prezența vanadiului poate fi pusă în evidență prin carotajul de activare continuu, izotopul radioactiv obținut (${}_{23}V^{52}$) avînd timp de înjumătățire scurt ($T = 3{,}9$ min).

În țara noastră, carotajul de activare pentru vanadiu a fost aplicat pentru identificarea unor zone de îmbogățire în șisturile bituminoase de la *Anina*

Mineralizațiile de crom pot fi identificate printr-un complex de metode radiometrice constînd din : carotaj neutron-gama spectral, carotaj neutron-neutronic cu neutroni supratermici, carotaj gama-gama de densitate și selectiv (Feldman, et al, 1974) care permite separarea univocă a minereurilor de cromite, diferențierea lor pe tipuri și evaluarea principalilor componenți și caracterizarea litologică generală a profilelor traversate. Un exemplu de acest fel este prezentat în fig. XIII.21

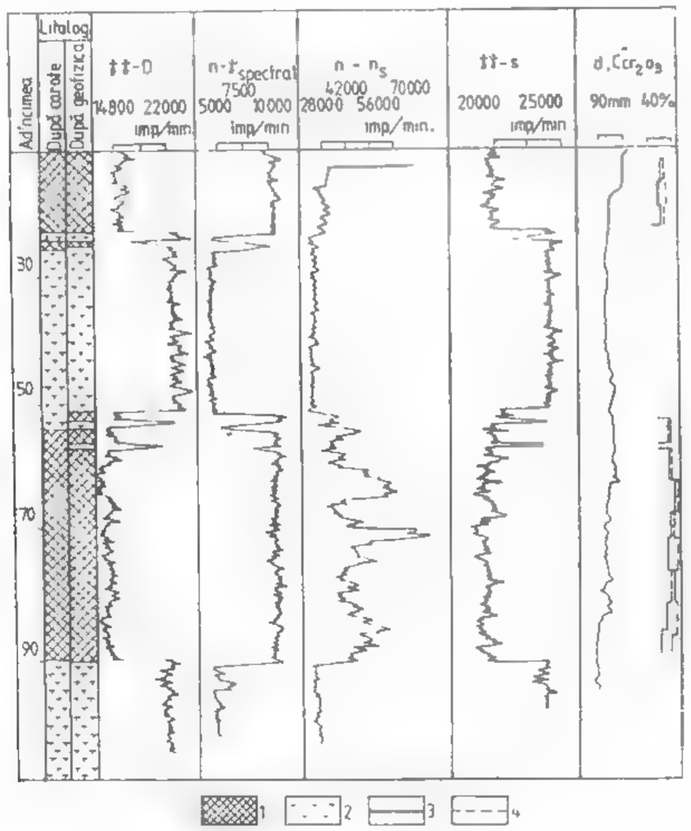


Fig. XIII.21. Separarea și evaluarea cromitelor cu ajutorul unui complex de carotaje radioactive (după Feldman et al.).

Mineralizațiile de nichel pot fi identificate prin carotaj gama spectral cu o „fereastră" energetică corespunzătoare acestui element. Separarea univocă a zonelor cu minereu de nichel este legată de diferențierea spectrelor Ni și Fe în domeniul energiilor mari ale radiației gama de captură (Alexeev et al., 1968 .

2.2. MINERALIZAȚII DE METALE NEFEROASE ȘI AURO-ARGENTIFERE

Mineralizațiile de metale neferoase, în particular, de cupru, plumb și zinc se întîlnesc adesea sub formă de sulfuri cu caracter polimetalic. O caracteristică importantă ce trebuie luată în considerare la aplicarea metodelor de carotaj geofizic este aceea că multe minereuri ale metalelor neferoase (pirită cupriferă, calcopirită) au o rezistivitate foarte mică, legată de conductibilitatea lor electronică. În funcție de tipul minereului, rezistivitatea poate fi mai mare sau mai mică. Astfel, minereurile metalelor neferoase de tip masiv, filonian sau agregate bogate au rezistivitate foarte mică, în timp ce minereurile diseminate, toate minereurile oxidate, minereurile de zinc și minereurile cu conținut mic în substanță utilă au o rezistivitate relativ mare.

Dacă primele tipuri de minereuri pot fi identificate prin metode electrice (rezistivitate, PS), pentru cele din al doilea grup se recomandă aplicarea metodelor radioactive și în particular, carotajul gama-gama de densitate și gama-gama selectiv.

În exemplul din fig. XIII.18 caracteristice zonelor cu sulfuri sînt valorile electropozitive pe curba de PS, rezistivitatea mică și valorile mici pe curba gama-gama de densitate

Carotajul gama-gama de densitate a fost aplicat cu succes în evaluarea concentrației de zinc din minereu sub formă de sulfuri într-o matrice de calcar și a conținutului total de **plumb și zinc** în anumite zone ale aceluiași zăcămînt (Donhoffer, 1969). Zonele cu minereu au fost evidențiate printr-o descreștere semnificativă a intensității relative (raportul între valorile înregistrate în zona de minereu la valorile înregistrate în intervalele din sondă cu roca de bază). Pe baza curbelor de calibrare s-a determinat concentrația în zinc sau în plumb și zinc; compararea valorilor obținute cu datele analizelor chimice a indicat o foarte bună corelare.

Pentru identificarea și evaluarea **cuprului** din minereurile cu conținut mic în metal se recomandă folosirea carotajului de activare neutronică. Sînt doi izotopi stabili ai cuprului care produc izotopi radioactivi la bombardarea cu neutroni : Cu^{65} în proporție de 31% și Cu^{63} în proporție de 69% în amestecul natural a izotopilor de cupru. Prin activare, din primul izotop stabil ia naștere izotopul radioactiv Cu^{65} cu timp de înjumătățire scurt ($T = 5,1$ min), iar din al doilea, ia naștere izotopul radioactiv Cu^{66}, cu timp de înjumătățire lung ($T = 12,8$ ore). Dacă se urmărește izotopul cu viață scurtă, carotajul de activare poate fi realizat continuu ; izotopul cu viață lungă poate fi identificat prin măsurători discrete.

Minereurile de aluminiu, în particular bauxitele, pot fi localizate la explorarea prin sonde cu ajutorul carotajului de activare. La iradierea cu neutroni, izotopul stabil $_{13}Al^{27}$ trece în izotopul radioactiv $_{13}Al^{28}$ ($T = 2,27$ min) a cărui radiație gama poate fi înregistrată în mod continuu la viteză mică de deplasare a dispozitivului în sondă

Mături de activarea aluminiului cu neutroni termici, conform reacției $_{13}Al^{27}$ (n, γ) $_{13}Al^{28}$, poate fi urmărită și activarea siliciului la bombardarea cu neutroni rapizi în acord cu reacția nucleară : $_{14}Si^{28}$ (n, p) $_{13}Al^{28}$. Raportul Al/Si obținut pe această cale reprezintă un indicator deosebit de util pentru evaluarea calității bauxitelor

Comparînd datele de măsurare în metoda activării cu conținutul în oxid de aluminiu din corpurile de bauxită determinat prin analize chimice, s-a găsit că între cele două mărimi există o dependență liniară.

Mineralizațiile auro-argentifere se întîlnesc adesea în asociație cu mineralizațiile polimetalice. Conținutul foarte mic de aur și argint din minereu face ca astfel de mineralizații să nu poată fi identificate direct prin metode uzuale. Metoda de bază pentru identificarea argintului și în condițiile unei etalonări corespunzătoare și evaluarea sa canti-

tativă este carotajul de activare. Se poate activa atît izotopul $_{47}Ag^{107}$, în proporție de 51,35% în amestecul natural al izotopilor de argint și secțiunea de activare de 44 barni, cît și izotopul $_{47}Ag^{109}$, în proporție de 48,65%, cu secțiunea de activare de 110 barni. Izotopul rezultat în primul caz, $_{47}Ag^{108}$ are timp de înjumătățire de 2,3 min, iar cel rezultat în al doilea caz, $_{47}Ag^{110}$, are timp de înjumătățire de 24 s, astfel încît radiația gama de activare poate fi înregistrată în mod continuu.

Aplicînd o metodică de cercetare adecvată pentru detectarea argintului, zonele mineralizate în argint se vor delimita, calitativ, printr-o diferențiere netă între curba radiației gama naturale înregistrată înainte de bombardarea cu neutroni și curba radiației gama de activare (fig. XIII.22).

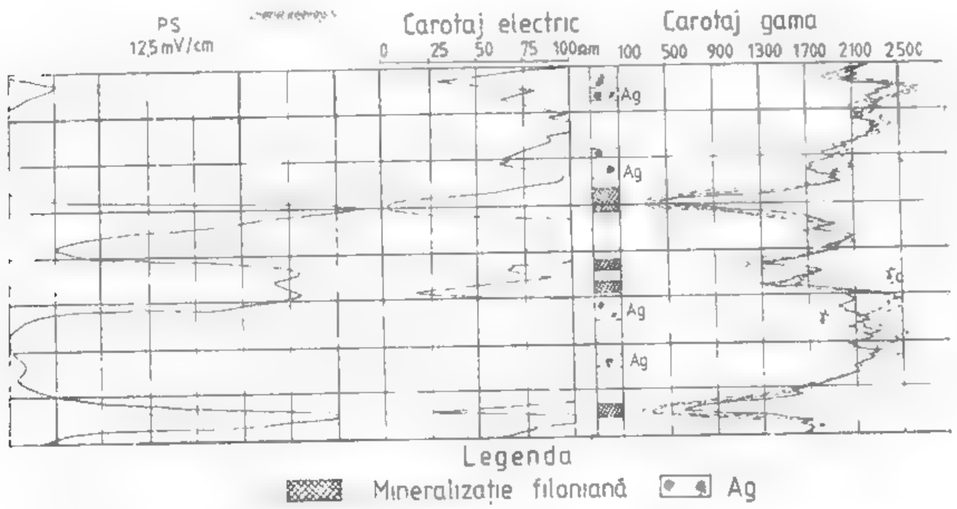


Fig. XIII.22. Exemplu de carotaj de activare pentru argint-*Băiuți* (după IFLGS).

Elemente de detaliu privind metodica cercetării mineralizațiilor auro-argentifere prin carotajul de activare au fost publicate de *Iordache* (1967).

Zonele de silicifiere și filoanele de cuarț cu care se asociază adesea mineralizațiile auro-argentifere pot fi puse în evidență cu ajutorul carotajelor de rezistivitate, gama natural și gama-gama (de densitate și selectiv).

2.3. MINERALIZAȚII DE ELEMENTE RADIOACTIVE, RARE ȘI DISPERSE

Pentru identificarea și evaluarea *in situ* a zăcămintelor de **uraniu sau mineralizațiilor radioactive** la explorarea prin sonde, carotajul radiației gama naturale reprezintă metoda care se indică de la sine.

La aplicarea carotajului gama pentru detectarea și evaluarea mineralizațiilor de uraniu trebuie să se țină seama de cîteva particularități (Hawkins și Gearhart, 1968) și anume:

— dispozitivul de carotaj trebuie să aibă un domeniu foarte larg de răspuns, deoarece este de așteptat ca într-un corp mineralizat să se întîlnească zone cu conținuturi variabile în uraniu

— detectorii utilizați să aibă un timp de rezoluție cît mai scurt posibil;

— în circuitul de măsură a semnalului să se conserve amplitudinea pulsurilor, proporțională cu energia radiației detectate;

— validitatea interpretării în termeni cantitativi depinde de acuratețea calibrării dispozitivelor; de regulă, această calibrare se efectuează pe modele cu concentrații comparabile cu cele din minereurile de uraniu.

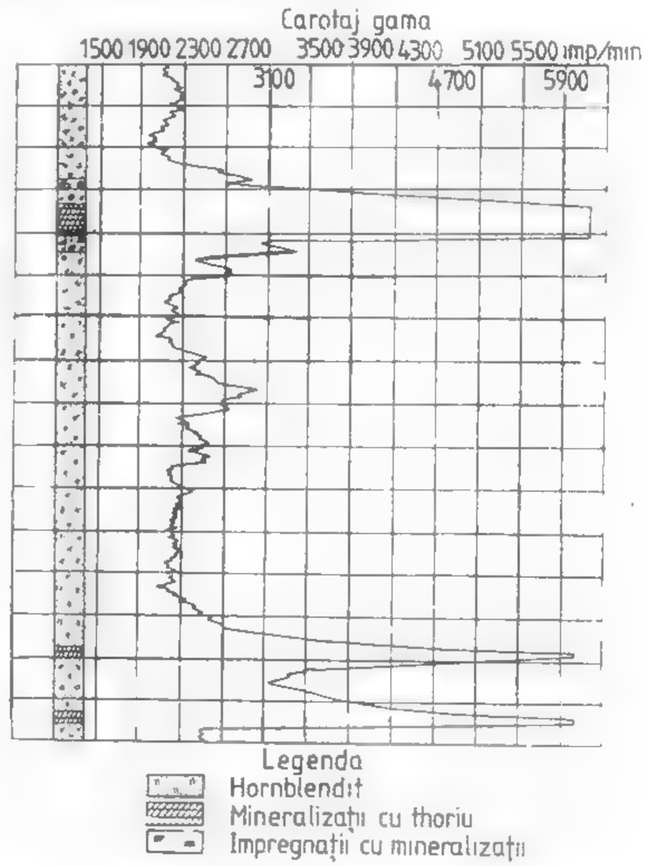


Fig. XIII.23. Carotaj gama pentru identificarea mineralizațiilor radioactive.

Identificarea și delimitarea calitativă a mineralizațiilor radioactive de uraniu și thoriu după curba gama este imediată, așa cum se poate vedea și în exemplul din fig. XIII.23

Evaluarea conținutului de uraniu din minereu are la bază relația (Scott et al., 1961):

$$C \cdot h = k \cdot A,$$

în care: C este conținutul mediu al minereului de uraniu exprimat în procente de U_3O_8 echivalent, în greutate;
h — grosimea zonei de minereu;
k — constantă de proporționalitate determinată în urma procesului de calibrare
A — aria închisă de curba gama.

Beriliul poate fi detectat și evaluat din punct de vedere calitativ cu ajutorul carotajului fotoneutronic. Este de menționat că au fost elaborate aparate portabile pentru prospectarea beriliului pe afloriminte și în lucrări miniere. Dispozitivele de etalonare din trusa aparatului asigură obținerea directă a conținutului de beriliu din rocă (Lövborg et al., 1969).

Metoda de activare cu radiații gama poate fi utilizată, de asemenea, pentru determinarea conținutului în **zirconiu** în minereuri zirconifere și în concentrate (Berzin et al., 1968) sau pentru determinarea simultană a conținutului de Ti și Zr în minereuri complexe titano-zirconifere, pe fondul altor elemente asociate (Sormikov, 1968).

Litiul posedă o mare secțiune de captură pentru neutroni termici [illegible] astfel că, în principiu, se poate identifica prin minime pe curbele neutronice [illegible] pot fi identificate cu suficientă precizie doar zonele îmbogățite în minerale de litiu (lepidolitul, zinwalditul, spodumenul).

2.4. ACUMULĂRI DE SUBSTANȚE NEMETALIFERE ȘI ROCI UTILE

Din gama foarte largă a substanțelor nemetalifere și rocilor utile, numai [illegible] din ele sînt explorate prin sonde, deși sînt multe asemenea substanțe care prin [illegible] tățile lor fizice în raport cu rocile în care sînt cantonate se evidențiază ușor pe curbele diferitelor procedee de carotaj geofizic.

Sarea gemă explorată și exploatată prin sonde poate fi identificată [illegible] carotajului radioactiv prin radioactivitatea sa scăzută și valori foarte reduse [illegible] ției gama de captură sau fluxului de neutroni. Variațiile pe curba gama și curbei [illegible] nice sînt puse pe seama impurităților constituite, de regulă, din argilă. Un exemplu de identificare a sării după diagrafia radioactivă este prezentat în fig. XIII.24.

Intervalele cu sare pot fi ușor identificate pe curbele carotajului electric cu curenți focalizați (laterolog) și pe curbele carotajului de densitate. În multe situații, curba de densitate poate să contribuie la diferențierea sării geme de anhidrit.

În evaluarea completă a oricărui zăcămînt de sare gemă capătă o importanță deosebită cunoașterea raportului dintre fracțiunea solubilă și insolubilă. Pentru determinarea conținutului solubil-insolubil al sării pot fi aplicate cu succes metode indirecte care utilizează datele diagrafiei geofizice moderne (de densitate, acustice și neutronice). La noastră o evaluare de acest gen a fost efectuată de *Aegui* (1977) pentru sondele de explorare a masivului de sare de la *Slătioarele-Argeș*. Datele integrate ale carotajelor gama, densitate și acustic au fost utilizate, de asemenea, pentru estimarea [illegible] a parametrilor elastici ai sării (modulului lui *Young*, coeficientul *Poisson*, modulul de elasticitate transversală și coeficientul de compresibilitate volumică).

Sărurile de potasiu și magneziu care prezintă interes practic sînt: silvina (KCl), carnalitul ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), langbeinitul ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), polyhalitul ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) și kainitul ($MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$). Aceste minerale sînt radio-

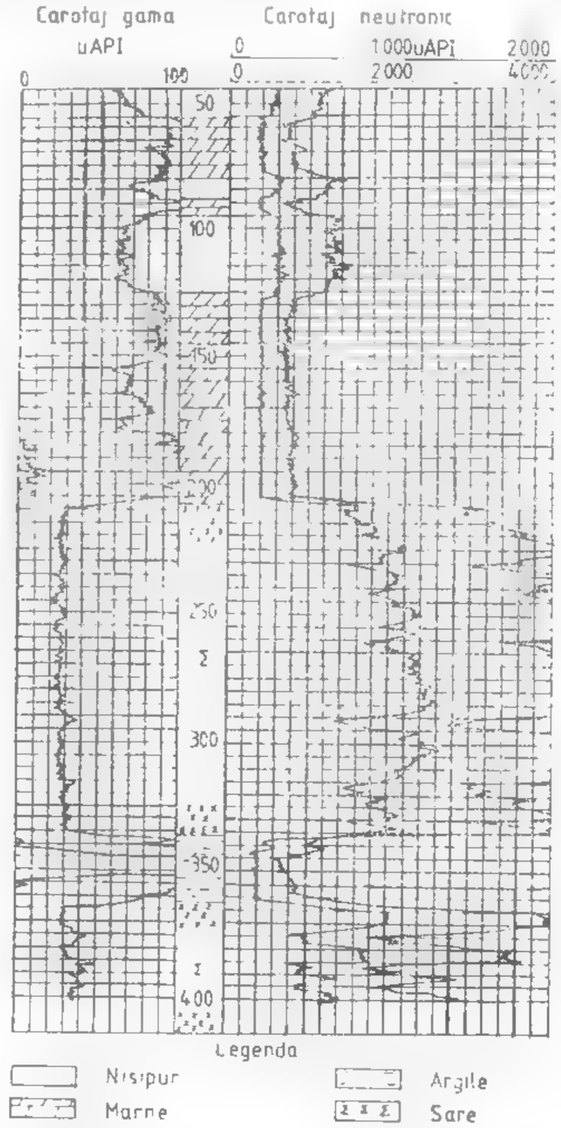


Fig. XIII.24. Identificarea sării după diagrafia radioactivă. *Slătioarele*-Argeș.

active, astfel că localizarea lor în profilul sondei se face cu ajutorul carotajului radiației gama naturale. O importantă detaliere poate fi făcută cu ajutorul carotajului neutron-gama, neutron-neutronic și gama-gama de densitate. Pe această bază se pot separa sărurile

de potasiu hidratate de cele fără apă de cristalizare și sărurile mai [illegible] de cele mai puțin dense.

Uneori argilele au o radioactivitate naturală comparabilă cu a stratelor de sărur. de potasiu. Diferențierea argilelor în acest caz este posibilă cu ajutorul carotajului a [illegible], deoarece argilele au un timp de parcurs mai mare decît amestecuri de sare și săruri de potasiu.

Un exemplu de diagrafie geofizică înregistrată într-o sondă de explorare pentru săruri de potasiu din zona *Cucuieți* este prezentat în fig. XIII.25.

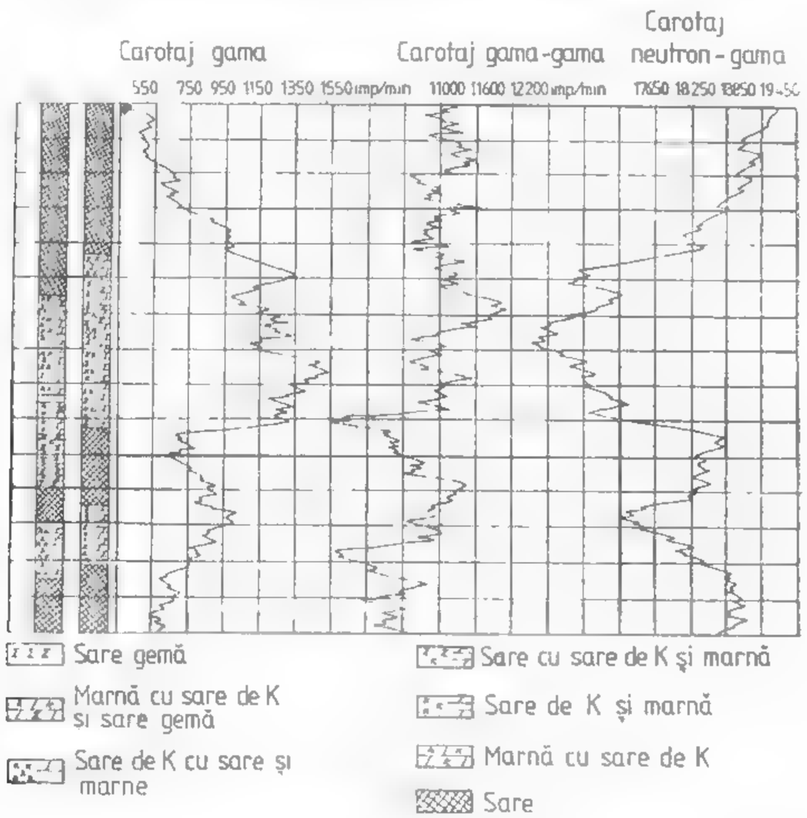


Fig. XIII.25. Identificarea zonelor cu săruri de potasiu după diagrafia geofizică în zona *Cucuieți* (după IFLGS).

În marea majoritate a cazurilor, sărurile de potasiu se întîlnesc în amestecuri cu alte evaporite și adesea conțin impurități insolubile. Pe baza unui program complex de investigare geofizică este posibilă atît identificarea tipului minerenlui de potasiu și magneziu cît și determinarea cantitativă a fiecărei fracțiuni mineralogice (Tixier și A[illegible], 1970).

Gipsul ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) și **anhidritul** ($CaSO_4$) se localizează ușor cu ajutorul carotajului electric prin rezistivitatea lor foarte mare și carotajul radioactiv (gama și neutron-

gama sau neutron-neutronic). O netă diferențiere a gipsului de anhidrit se face cu ajutorul carotajului neutronic (datorită conținutului în apă de cristalizare a gipsului) și a carotajului de densitate, pe baza unui contrast de aproximativ 0,6 g/cm³.

Grafitul este identificabil în primul rînd prin carotajul electric — rezistivitate mică datorită conductibilității electronice și PS electropozitiv. Separarea rocilor cu grafit este asigurată dacă alături de carotajul electric se folosește și carotajul radioactiv (gama și gama-gama de densitate).

Pentru o serie de alte substanțe nemetalifere și roci utile (rocă cu sulf, baritină, fluorină, cuarțite, pegmatite cu mică, pegmatite cu feldspați, calcare, dolomită, cretă, nisipuri silicioase, argile), carotajul geofizic prin multitudinea de metode de care dispune poate întruni condiții optime de aplicabilitate, în măsura în care pentru explorare sînt utilizate sonde al căror diametru permite lansarea dispozitivelor geofizice.

În strînsă legătură cu condițiile geologice locale, aplicînd un program optim de investigare geofizică, pentru fiecare substanță nemetaliferă de interes pot fi stabilite criteriile de identificare și chiar de evaluare cantitativă.

2.5. CĂRBUNI ȘI ROCI COMBUSTIBILE

2.5.1. CĂRBUNI

Cercetarea geofizică sistematică a sondelor săpate pentru cărbuni se face în două etape:

o cercetare cu caracter informativ pe toată sonda forată, în scopul obținerii datelor inițiale pentru corelare, separarea principalelor tipuri de roci și a stratelor de cărbuni. Scara de adîncime utilizată este, de regulă, 1 : 200;

o cercetare de detaliu, în scara de adîncime 1 : 50 sau 1 : 20, pe porțiuni selectate pentru un control suplimentar privind prezența stratelor de cărbuni, determinarea grosimii lor exacte și precizarea poziției structurale.

Cele două etape nu sînt obligatorii; în funcție de gradul de cunoaștere geologică a regiunii de lucru și condițiile particulare ale unui zăcămînt explorat, investigarea poate fi făcută cu un complex de metode corespunzător unei etape sau alteia.

Alegerea corectă a dispozitivelor de lucru sau a metodei de carotaj geofizic depinde de grosimea stratelor de cărbuni și a rocilor intercalate.

Proprietățile fizice ale cărbunilor variază în limite largi, în funcție de gradul de [illegible]onificare. De aceea, criteriile de identificare a stratelor de cărbuni, în general, sînt diferite, în funcție de tipul cărbunilor și rocilor adiacente.

Investigarea sondelor săpate pentru cărbuni, în cele mai dese cazuri, cel puțin pentru țara noastră, se realizează cu un complex de metode electrice și radioactive.

Cîteva exemple vor evidția rolul carotajului geofizic în identificarea, delimitarea și evaluarea cărbunilor.

Cărbunii superiori, în particular **antracitul,** sînt identificați prin cele mai mici valori pe curbele de rezistivitate aparentă și prin valori mari, electropozitive, pe curbele PS, așa cum se poate constata în exemplul din fig. XIII.26 pentru o sondă din zona [illegible]. Rezistivitatea aparentă mică și PS-ul electropozitiv nu reprezintă însă un criteriu [illegible] interpretare. Se pot întîlni situații cînd în mod analog se remarcă grafitul, rocile [illegible]ase și șisturile cărbunoase. De aceea, programul de investigare este completat cu

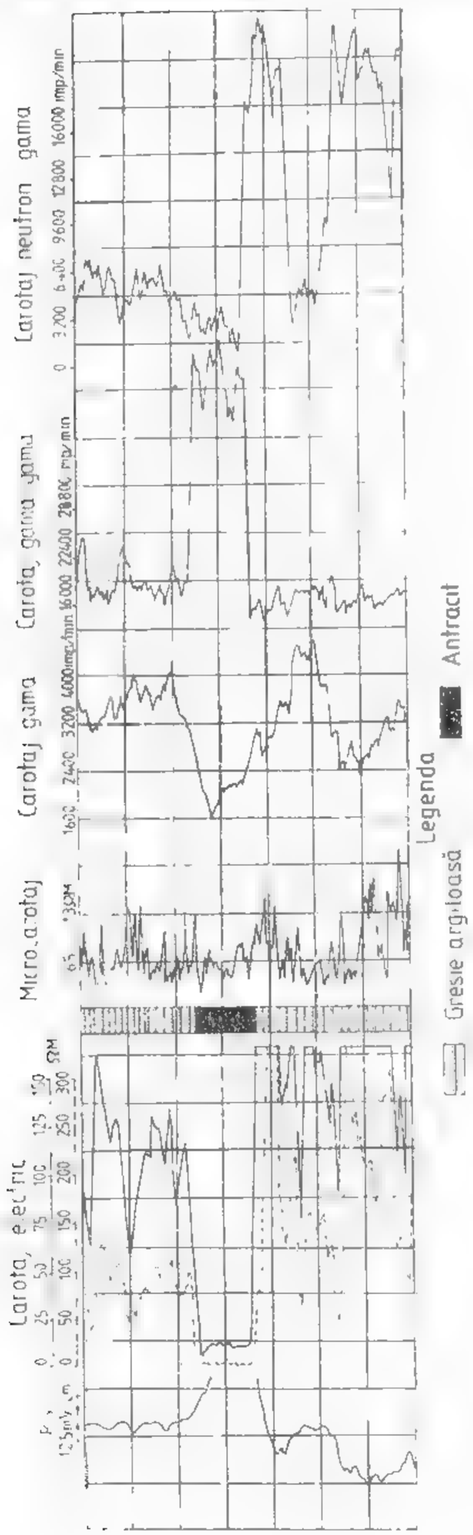


Fig. XIII.26. Diagrafie geofizică complexă pentru identificarea unor antracitelor în zona *Lupoaia Anina* (după H. I. G. S.)

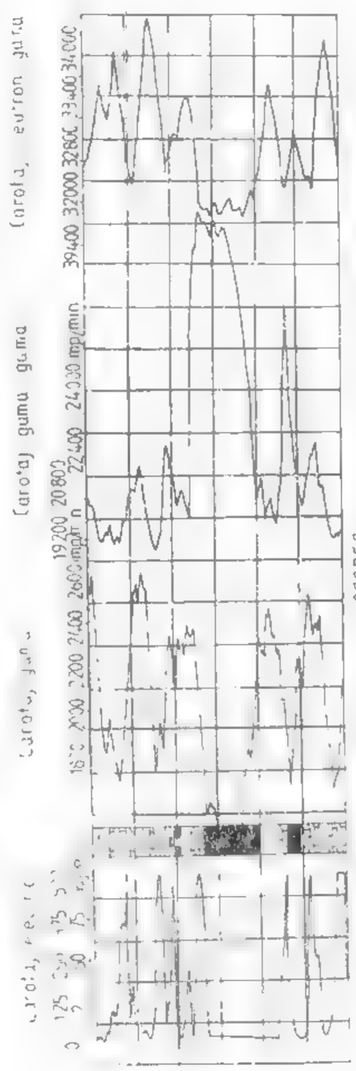


Fig. XIII.27. Identificarea antracitelor din zona *Vieșuroiu* (după H. I. G. S.)

metode de carotaj radioactiv (gama, gama-gama și neutron-gama). Antracitele se manifestă prin minime pe carotajul gama și maxime evidente pe carotajul gama-gama, datorită contrastului de densitate important (de circa 0,6 g/cm³) pe care-l realizează în raport cu gresiile și gresiile argiloase adiacente. Plasarea limitelor și determinarea grosimii stratului de antracit sînt asigurate cu ajutorul curbelor de rezistivitate și gama-gama. Curba neutron-gama răspunde la conținutul în hidrogen al stratului de antracit; minimul înregistrat se explică prin apa din noroi care pătrunde în stratul de cărbune pe raza de investigație a dispozitivului utilizat.

În mod asemănător se manifestă stratele de antracit în alt context geologic, față de șisturile cuarțitice și pirofilitice adiacente, la *Vieșuroiu* (fig. XIII. 27). Rezistivitatea foarte mică și constantă poate fi pusă în legătură cu omogenitatea stratului de cărbune. Se observă că în acest caz, PS-ul, deși ușor electropozitiv, nu mai este definitoriu ca în cazul precedent. Șisturile pirofilitice, deși au rezistivitate mică, se diferențiază net de stratele de cărbuni prin amplitudini mari pe curba radiației gama naturale; la rîndul lor, șisturile cuarțitice se separă de șisturile pirofilitice prin rezistivitate mare și radioactivitate scăzută.

Huilele pot fi identificate pe baza valorilor mari ale rezistivității și radiației gama dispersate. Modul de manifestare pe curba radiației gama naturale depinde de conținutul în cenușă. Huilele cu conținut mare în cenușă, ca și șisturile cărbunoase dau maxime pe curba gama, iar cele cu conținut mic în cenușă, minime. Pe curbele neutron-gama, huilele se remarcă prin minime, cu observația că amplitudinea anomaliei variază în funcție de conținutul în apă.

Cărbunii bruni și lignitul se separă relativ simplu, comparînd curbele de rezistivitate aparentă, gama, gama-gama și neutron-gama. Rezistivitatea lignitului, de regulă mai mare decît a rocilor adiacente, poate varia într-un domeniu larg în funcție de conținutul în cenușă și umiditate. Minimul de radioactivitate naturală asociat cu maximul de pe curba gama-gama de densitate reprezintă un criteriu sigur de identificare a lignitului, ca de altfel și a altor tipuri de cărbuni.

Un exemplu deosebit de sugestiv de identificare a cărbunilor după diagrafia geofizică este dat în fig. XIII.28, pentru o sondă din *Valea Jiului* (Lonea). Curbele gama-gama și de rezistivitate permit delimitarea cu mare precizie, pe de o parte a cărbunilor, iar pe de altă parte a intercalațiilor sterile. Grosimea netă a cărbunilor, după cum este cunoscut, reprezintă un parametru important pentru evaluarea corectă a rezervelor.

Deși radioactivitatea naturală scăzută a cărbunilor este o caracteristică generală, nu se poate folosi exclusiv acest criteriu, deoarece există cărbuni cu radioactivitate uneori mai mare decît a argilelor adiacente. Cărbuni radioactivi au fost întîlniți în bazinul *Văii Jiului* (Bacîru, 1966) și pe zonele mai noi, încă în explorare, din județul *Mehedinți* (*Pruor, Livezile, Husnicioara, Ghelmegioia*).

În fig. XIII.29 se prezintă un exemplu de diagrafie geofizică complexă a unei sondă din zona *Pannon*. Este de observat mai întîi că diagrafia electrică permite determinarea naturii litologice a formațiunilor traversate de sondă și separarea orizonturilor poase permeabile, în particular, a orizonturilor acvifere, dar nu identifică stratele de cărbuni. Carotajul radioactiv, mai ales carotajul gama-gama, identifică stratele de cărbuni cu valori foarte mari în raport cu rocile adiacente (argile, nisipuri). Carotajul radiației gama naturale a pus în evidență existența unor cărbuni radioactivi.

Pe baza celor cîteva exemple prezentate se poate deduce cu ușurința capacitatea cantajului geofizic de a indica natura litologică a formațiunilor și a identifica stratele de cărbuni, de asemenea, carotajul geofizic asigură delimitarea unor repere caracteristice, lipsite de a stratelor de cărbuni radioactivi, care s-au dovedit a fi de o importanță deosebită în realizarea sinonimiei stratelor de cărbuni și clarificarea condițiilor structurale și de

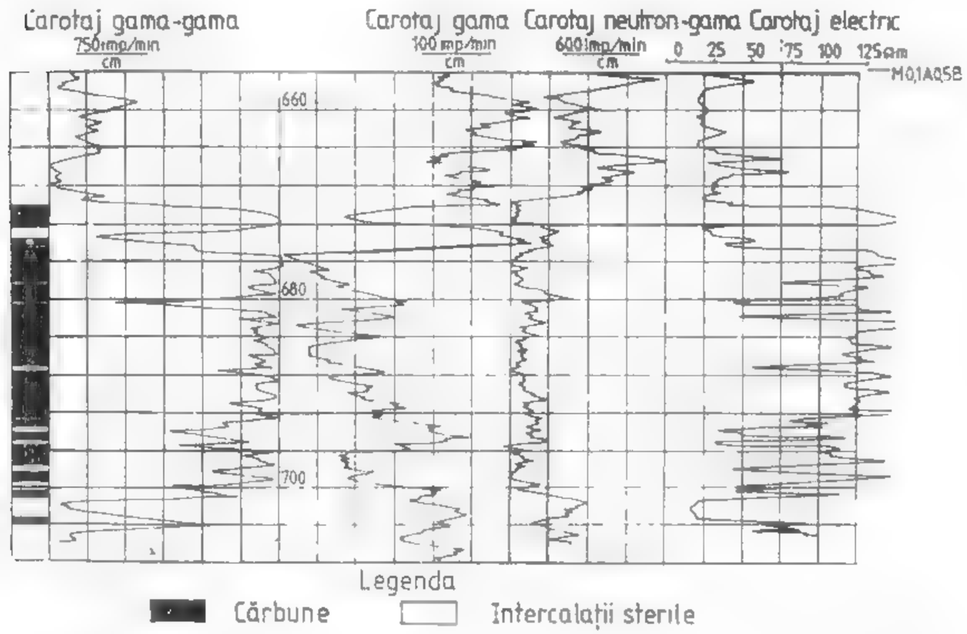


Fig. XIII28. Diagrafie geofizică complexă pentru identificarea cărbunilor în *Valea Jiului* (Lonea) (după IFLGS).

ză ămînt, mai ales cînd reperele identificate au o extindere regională. Este cunoscută importanța reperului de corelare numit *reper de bază*, identificat pe diagrafia radioactivă în corelarea pe baze obiective a stratelor de cărbuni în bazinul *Văii Jiului* (Ba. îru, 1966).

Carotajul geofizic asigură delimitarea în profilul traversat a formațiunilor poroase-permeabile, care în majoritatea cazurilor corespund unor orizonturi acvifere. O informație deosebit de utilă obținută din carotajul geofizic este identificarea acviferelor cu nivel liber și determinarea poziției nivelului hidrostatic. Un exemplu de acest fel se vede în fig. XIII.30, în care poziția nivelului hidrostatic este marcată printr-un salt de rezistivitate caracteristic, controlat și corelat foarte bine cu un salt de același fel pe curba neutron-gama. Deoarece un astfel de *model* poate fi asociat și unei treceri de la un orizont nisipos curat în partea superioară, la un orizont mai argilos în partea inferioară sau unei schimbări în dimensiunile granulelor de nisip, pe o zonă specifică, datele carotajului geofizic trebuie să fie completate cu determinări directe ale nivelului hidrostatic în sondele de cercetare hidrogeologică.

Implicațiile unor astfel de informații indirecte, în proiectarea și realizarea lucrărilor miniere de explorare și exploatare, sînt evidente.

Identificarea și delimitarea calitativă, precum și evaluarea cantitativă complexă a cărbunilor pot fi făcute dacă programul de investigare realizat cuprinde cele mai moderne metode de carotaj: acustic, densitate, neutron-neutronic, gama, microcarotaj, laterolog și cavernometrie. În țara noastră o astfel de evaluare a fost realizată de *Negoiță* (1980) pentru stratele de cărbuni cuprinse într-o succesiune nisipuri-argile.

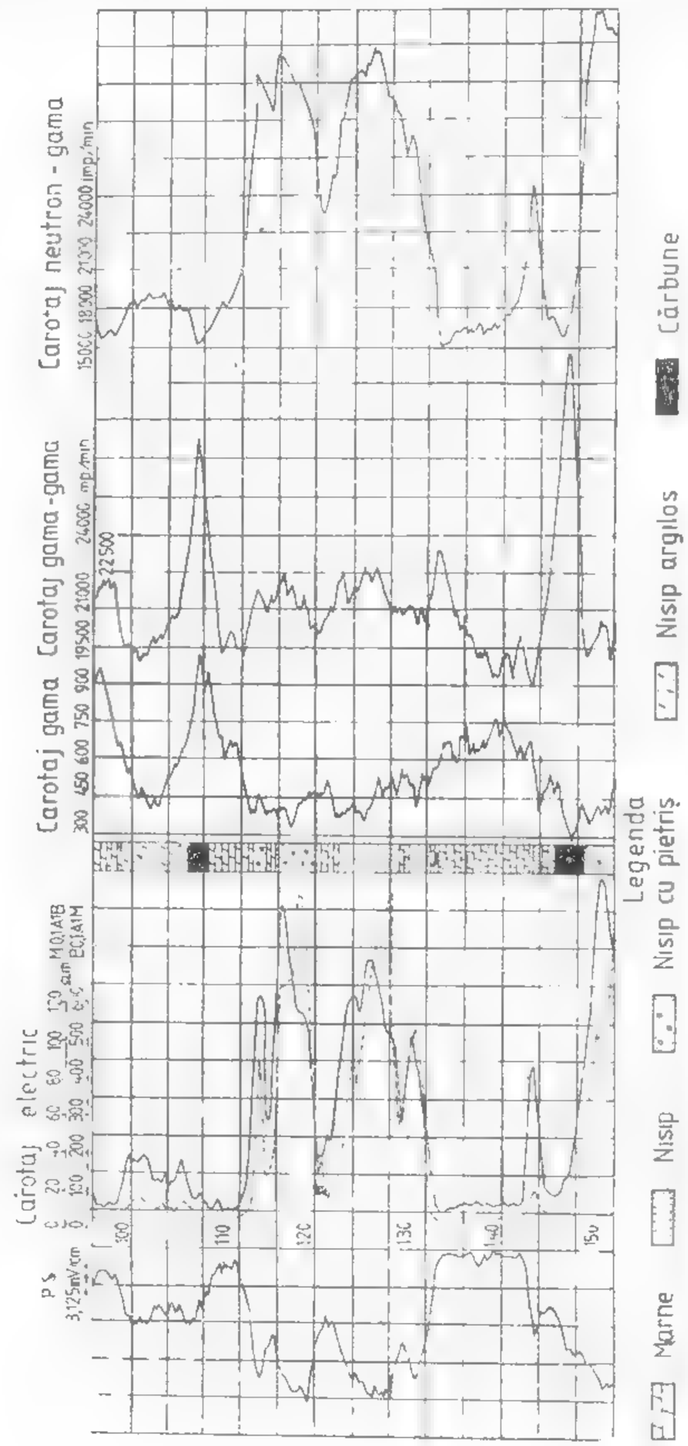


Fig. XIII.29. Diagrafie geofizică complexă pentru cărbuni în zona *Pronisor*, jud. Mehedinți (după IFLGS).

Determinarea conținutului în cenușă al cărbunilor. Pentru aprecierea calității straturilor de cărbuni, unul dintre parametrii principali care trebuie să fie cunoscuți este conținutul în cenușă. Pentru aceasta, *metoda gama-gama de densitate* are cea mai largă aplicabilitate. Deoarece densitatea impurităților minerale este mai mare decît densitatea

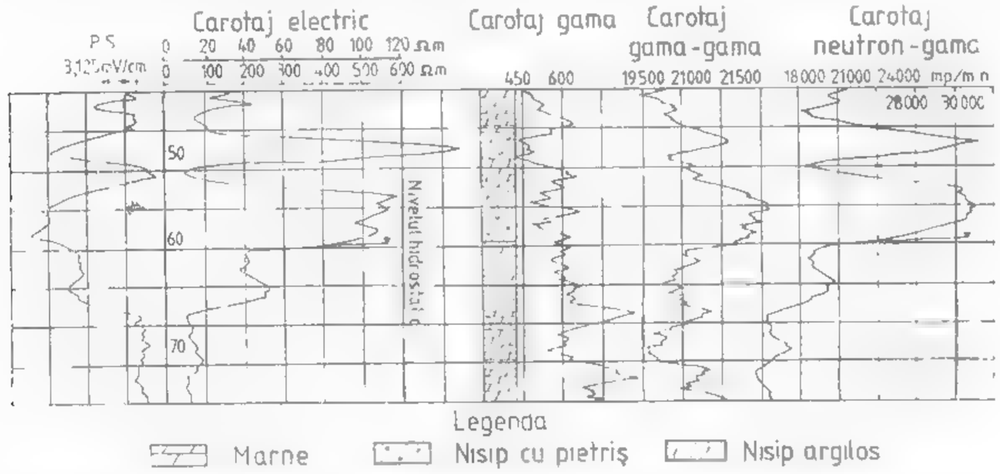


Fig. XIII.30. Exemplu de determinare a nivelului hidrostatic în acviferele cu nivel liber din zona *Prunișor*, după diagrafia geofizică

masei cărbunoase de orice tip, creșterea conținutului în cenușă se manifestă printr-o creștere corespunzătoare a densității. Între conținutul în cenușă și densitate există o dependență aproape funcțională, liniară, de tipul celei prezentate în fig. XIII.31. Astfel, dacă se dispune de un carotaj gama-gama de densitate calibrat în unități de densitate, este posibil

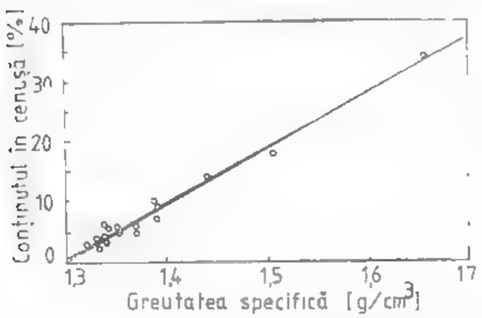


Fig. XIII.31. Dependența între densitate și conținutul în cenușă (după Tixier și Alger).

să se construiască graficul dependenței conținutului în cenușă de densitate pentru straturile în care aceasta este cunoscută prin analize de laborator. O dată determinată această dependență pentru anumite strate sau complexe carbonifere, la sondele noi, evaluarea conținutului în cenușă este imediată.

Pentru estimarea conținutului în cenușă a cărbunilor se poate utiliza, de asemenea, *carotajul radiației gama naturale*, plecînd de la constatarea că cenușa este constituită în cea mai mare parte din argilă. Astfel, cu cît cantitatea de cenușă este mai mare cu atît radioactivitatea cărbunilor este mai mare. O dată stabilit caracterul dependenței

dintre intensitatea radiației gama naturale și conținutul în cenușă pentru un anumit orizont sau strat de cărbune, diagramele înregistrate în sonde noi care au traversat aceste strate pot fi folosite foarte simplu la determinarea conținutului în cenușă, fără a fi nevoie de carotaj mecanic.

Problema se reduce deci, la determinarea conținutului în argilă după curba gama și se calculează mai întîi parametrul:

$$\Delta I_{\gamma,x} = \frac{I_{\gamma,x} - I_{\gamma,min}}{I_{\gamma,max} - I_{\gamma,min}},$$

în care $I_{\gamma,max}$ este radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat de argilă;
$I_{\gamma,min}$ – radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat fără argilă (nisipuri, gresii calcare sau chiar strate de cărbuni);
$I_{\gamma,x}$ – radioactivitatea măsurată în dreptul unui strat cu conținut x în argilă.

Apoi conținutul în argilă se calculează cu relațiile:

$$C_{a,\gamma} = 0{,}083\,(23{,}7\Delta I_{\gamma} - 1{,}0),$$

pentru formațiuni terțiare și

$$C_{a,\gamma} = 0{,}33\,(22\Delta I_{\gamma} - 1{,}0)$$

pentru formațiuni geologice mai vechi.

Graficul din fig. XIII.32 rezolvă ecuațiile de mai sus.

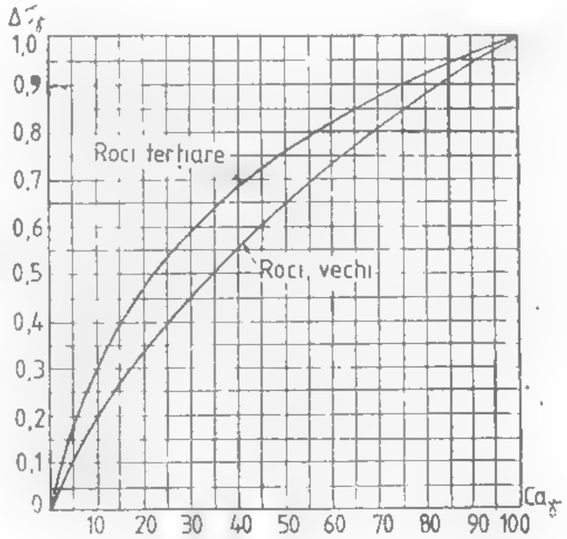


Fig. XIII.32. Graficul de determinare a conținutului în argilă după carotajul radioactiv (după Dresser Atlas).

Acest procedeu are două limitări și anume:

– cenușa are o compoziție complexă și, pe lîngă substanța argiloasă, conține cuarț și alte minerale depuse pe căpătîiul cărbunilor, care nu sînt radioactive;

— radioactivitatea cărbunilor este determinată nu numai de conținutul [illegible] argilă ci și de concentrarea unor substanțe radioactive în masa cărbunilor.

Totuși, această cale de determinare a conținutului în cenușă poate fi utilizată, deoarece carotajul gama intră în complexul curent de investigare a sondelor săpate pentru cărbuni.

Pentru determinarea conținutului în cenușă pot fi experimentate și aplicate și alte procedee indirecte, plecînd de la datele carotajelor de rezistivitate, gama-gama, selectiv, neutron-gama sau de activare.

2.5.2. ȘISTURI BITUMINOASE

Carotajul geofizic este aplicat cu succes la identificarea, delimitarea și evaluarea șisturilor bituminoase. Programul de investigare este în general compus din [illegible] carotaj electric, radioactiv (gama, gama-gama și neutronic), acustic și cavernometrie. Un exemplu dintr-o sondă de explorare din zona *Anina* este prezentat în fig. XIII.33.

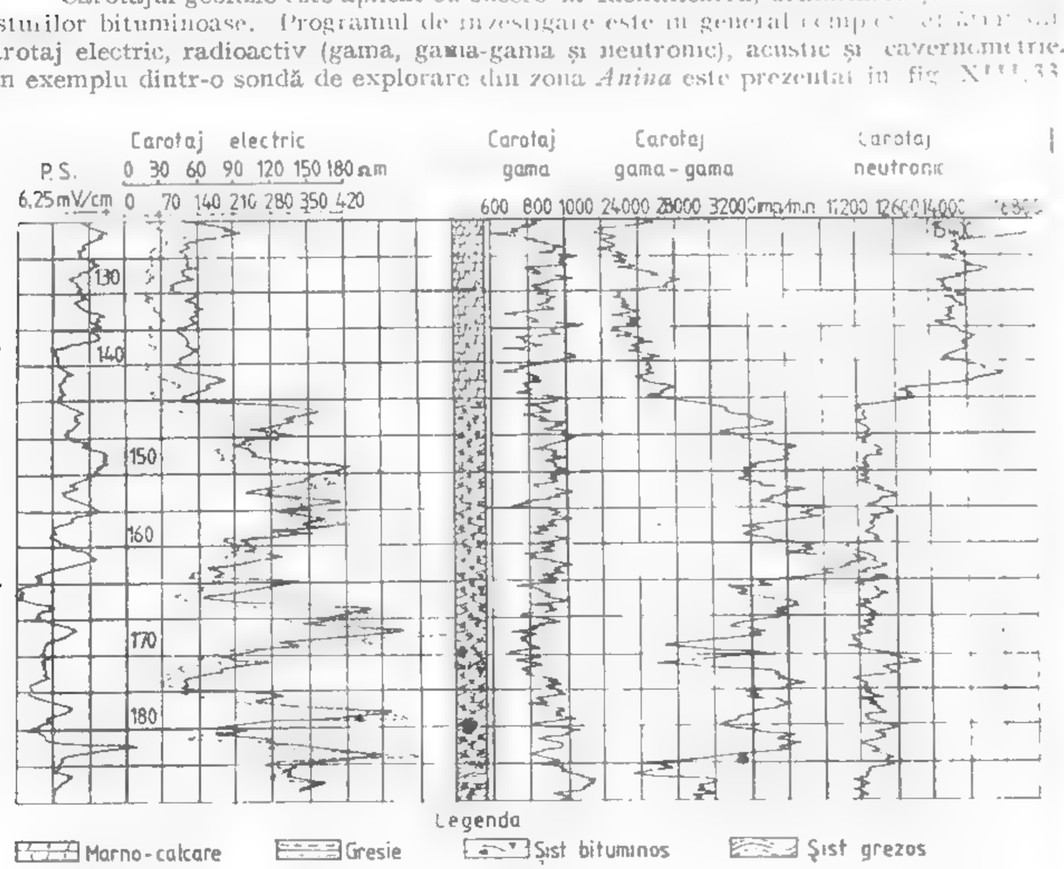


Fig. XIII.33. Diagrafie geofizică complexă pentru șisturi bituminoase în zona *Anina* (după IFLGS).

Șisturile bituminoase sînt delimitate cu siguranță, în raport cu marnocalcarele adiacente superioare, atît prin carotajul de rezistivitate cît și prin carotajele gama-gama de densitate și neutron-gama. Conținutul în materie organică al șisturilor explică rezistivitatea mare

densitatea mică (maxime pe curba gama-gama) și conținutul mare în hidrogen (minim pe curba neutron-gama). Curba radiației gama naturale nu diferențiază, de regulă, șisturile bituminoase în raport cu marnocalcarele superioare, dar, poate preciza limita inferioară a pachetului de șisturi la intrarea în gresii în care, de obicei, forajele de explorare sînt oprite.

Variația conținutului în materie organică a șisturilor bituminoase este pusă în evidență cel mai bine prin modificarea densității rocii. De altfel, carotajul de densitate s-a aplicat cu succes la evaluarea cantitativă a șisturilor bituminoase (Smith et al., 1968). Unele limitări apar datorită existenței în masa șisturilor a unor cristale de $NaHCO_3$ cu o densitate mult mai mică decît a fracțiunii mineralogice pelitice și de existența unor goluri rămase în masa rocii prin dizolvarea acestui mineral. În ambele cazuri, în carotaj se înregistrează o densitate mai mică, nelegată de creșterea conținutului în materie organică.

Pe baza corelației între conținutul de materie organică și densitatea înregistrată în carotaj, pentru fiecare zonă cercetată pot fi stabilite, cu metodele standard de regresie, ecuațiile care leagă răspunsul carotajului de densitate de conținutul util. O dată stabilită astfel de corelație, pentru sondele noi de explorare este suficient să se înregistreze numai carotajul de densitate; în acest caz conținutul în materie organică al șisturilor bituminoase, în orice etapă a explorării, poate fi cunoscut cu o precizie suficient de bună.

XIV. EVALUAREA REZERVELOR ZĂCĂMINTELOR DE SUBSTANȚE MINERALE UTILE

Ing. VIOREL VIERESCU
Dr. ing. IULIU SILAȘ

1. PRINCIPII GENERALE

Fondul național de rezerve geologice de substanțe minerale utile se constituie pe baza rezervelor geologice evaluate pe zăcămintele de substanțe minerale utile, luînd în considerare datele rezultate din lucrările de prospecțiune, explorare și exploatare, precum și din studiile tehnologice, tehnice și economice efectuate în diferite etape.

Rezervele geologice reprezintă cantitățile de substanță minerală utilă caracterizată din punct de vedere al calității și al condițiilor de zăcămînt, în funcție de gradul de cunoaștere realizat prin lucrările executate, calculate așa cum se găsesc în zăcămînt, fără a lua în considerare modificările ce pot surveni în procesul de exploatare (pierderi, diluții).

Cantitatea se exprimă în *tone* (t) aproape la toate substanțele și în *metri cubi* (m^3) în mod special la roșile de construcție (marmură, nisip și pietriș etc.).

Calitatea este diversificată în funcție de substanță și, de obicei, exprimă elementul util sau dăunător în *procente* (%) la minereuri neferoase, feroase, bauxită și altele sau *grame/tonă* (g/t) pentru minereuri auro-argentifere, elemente rare; pentru unele substanțe nemetalifere și roci utile calitatea este caracterizată de o serie de parametri fizici (*grad de alb* la caolin, *indice pirometric* la argile refractare etc.), iar pentru cărbuni — *putere calorifică, procent de cenușă, umiditate* etc.

Evaluarea rezervelor geologice constituie totalitatea operațiilor care, luînd ca bază datele rezultate din lucrările de cercetare geologică și exploatare, conduce la stabilirea cantității, calității și condițiilor unui zăcămînt, pe o porțiune delimitată precis în spațiu.

Pentru a evita și micșora pe cît posibil erorile și uneori subiectivismul de care este legată evaluarea rezervelor, urmare selecționării datelor și interpretărilor geologice și pentru a obține elemente de calcul cît mai aproape de realitate, se impune respectarea cu stricteță a cîtorva principii de bază:

— parametrii care exprimă cantitatea (grosime, masă volumetrică) și parametrii care exprimă calitatea să fie determinați din același loc și pe baza aceleiași probări;

— evaluarea să fie făcută pe unități de calcul, delimitate precis în spațiu;

— să existe o identitate perfectă între reprezentarea geologică și cea folosită la calculul rezervelor pe profile, secțiuni orizontale, unități de calcul și în ansamblu;

— să se urmărească ca punctele de probare să fie amplasate pe o rețea cît mai regulată; cu cît zăcămîntul este mai neuniform și complicat, cu atît rețeaua să fie mai deasă, iar lucrările mai regulat amplasate;

— în cadrul fiecărei etape de cercetare, la nivelul corespunzător gradului de detaliere și cunoaștere propus, să se efectueze studii tehnologice, tehnice și economice, avînd în vedere că noțiunea de rezervă geologică este în strînsă legătură cu noțiunea de zăcămînt, care în ultimă instanță reprezintă o entitate economică;

pentru a aprecia gradul de precizie realizat, în toate etapele să se efectueze calcule statistice și geostatistice și să se creeze posibilitatea comparării datelor, în anumite zone din zăcămînt, cu datele de detaliu realizate pe porțiuni restrînse în același zăcămînt;

— să se evite supraevaluarea rezervelor cu un mic grad de cunoaștere, considerîndu-se că corectarea rezervelor se va face ulterior prin promovarea acestora de la o categorie inferioară la alta superioară;

în toate operațiile de calcul și clasificare a rezervelor să se țină seama de toți factorii geologici și în mod deosebit de tendințele de efilare, slăbire și discontinuitate a mineralizației, grad de tectonizare, oxidare etc.

2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE

2.1. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE CUNOAȘTERE

După *gradul de cunoaștere*, rezervele geologice se clasifică în categoriile A, B, C_1 și C_2 și rezerve de prognoză (D).

Rezervele A, B și C_1 se calculează pe baza parametrilor măsurați (rezerve măsurate).

Rezervele C_2 se calculează pe bază de parametri deduși sau indicați (rezerve indicate).

Rezervele de prognoză (D) se estimează pe bază de parametri presupuși sau ipotetici (rezerve ipotetice).

Suma rezervelor $A + B + C_1 + C_2 + D$ o constituie resursa totală sau potențială a unei zone sau provincii metalogenetice luată în ansamblul său.

Pentru gradul de cunoaștere, pînă în prezent în normativele în vigoare nu sînt stabilite condiții impuse exprimate valoric; de regulă clasificarea rezervelor în categorii se face pe baza unor criterii sau aprecieri.

Orientativ se pot avea în vedere pentru cantitatea de substanță utilă (de exemplu metalul în minereurile neferoase) procentele de certitudine cuprinse în tabelul XIV.1 care caracterizează gradul de cunoaștere (sau gradul de certitudine).

Tabelul XIV.1

Certitudinea rezervelor după gradul de cunoaștere, în %

Specificație	A	B	C_1	C_2	D
Pe unitatea de calcul	70	60	50	25	—
Pe întregul zăcămînt	90	80	70	50	30
Pe întreaga zonă sau provincie metalogenetică	—	—	-	-	25

Clasificarea în categorii (A, B, C_1 și C_2) a rezervelor cuprinse în limitele unităților de calcul constituie o operație complexă și se face aplicînd cu mult discernămînt criteriile prevăzute în normativele în vigoare, ținînd seama de clasa în care este încadrat zăcămîntul.

Încadrarea zăcămintelor în clase se face pe baza factorilor naturali determinați în mare măsură de condițiile de zăcămînt.

Normele metodologice în vigoare cuprind 3 clase de zăcăminte:

Zăcămintele din clasa I-ă au forme și contur regulat, o variație mică a distribuției componenților utili și prezintă dimensiuni mari.

Zăcămintele din clasa a II-a au forme și contur neregulat, o variație relativ mică a distribuției componenților utili și sînt de dimensiuni mijlocii.

Zăcămintele din clasa a III-a au forme și contur foarte neregulat, o variație mare a distribuției componenților utili și sînt de dimensiuni variate.

Definirea generală a categoriilor de rezerve are la bază următoarele criterii:

Rezervele de prognoză (D) sînt estimate și apreciate pe baza factorilor și condițiilor geologice generale care pot fundamenta emiterea unei ipoteze privind formarea și acumularea substanțelor minerale utile solide în unele regiuni, în vederea aprecierii perspectivelor acesteia; de asemenea, sînt estimate în extinderea rezervelor de categoria C_2.

Categoria C_2 cuprinde rezervele cercetate cu lucrări izolate, în număr mic și la distanțe mari, sau extrapolate de la rezervele de categorii superioare.

Categoria C_1 cuprinde rezervele calculate prin interpolarea datelor între lucrări miniere și foraje, executate separat sau împreună, prin extrapolarea de la rezervele de categoria A și B, precum și prin extinderea datelor obținute într-un alimament de cercetare, de o parte și de alta a acestuia (la zăcămintele din clasa I și II).

Categoria B cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau trepte de carieră și rezervele calculate prin interpolare între lucrările miniere sau foraje executate separat sau împreună, la o rețea corespunzătoare clasei respective.

Categoria A cuprinde rezervele delimitate în panouri de exploatare sau în trepte de carieră; există rezultate confirmate prin exploatare.

Definirea generală a categoriilor de rezerve se completează cu criteriile ce condiționează clasificarea rezervelor în categorii care sînt: obligatorii, orientative și aprecieri.

Criteriile obligatorii se aplică indiferent de clasa în care este încadrat zăcămîntul, după cum se arată în tabelul XIV.2.

Criteriile orientative se referă în principal la:

— clasificarea în categorii pe baza condițiilor impuse de gradul de cunoaștere exprimat în % (tabelul XIV.1), care se determină pe bază de calcule statistice și geostatistice;

— executarea unei anumite rețele de lucrări și delimitarea panoului de un anumit număr de laturi, în funcție de substanță și clasa în care este încadrat zăcămîntul; este indicat ca rețeaua să se stabilească pe bază de studii statistice și geostatistice care ulterior să fie verificate prin analize cu privire la gradul de regăsire al rezervelor în procesul de producție. În tabelul XIV.3 se prezintă rețeaua de lucrări care orientativ poate servi la explorarea și clasificarea rezervelor în categorii pentru minereuri neferoase.

Aprecieri. În general, parametrii privind cantitatea rezervelor, calitatea acestora precum și condițiile de zăcămînt sînt:

— presupuse la rezervele de prognoză (D)

— cunoscute orientativ la categoria C_2;

— cunoscute informativ la categoria C_1;

— cunoscute la categoria B;

— cunoscute în detaliu la categoria A

Tabelul XIV.2

Criteriile obligatorii de încadrare a rezervelor în categorii

Specificație	A	B	C_1	C_2	D
Etapa de cercetare					
Prospecțiune	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Explorare					
— preliminară	Nu	Nu	Da	Da	Nu
— de detaliu	Da	Da	Da	Nu	Nu
Exploatare	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
Studii tehnologice					
Laborator	Nu	Nu	Nu	Da	Nu
Pilot	Nu	Nu	Da	Nu	Nu
Semiindustrial	Nu	Da	Nu	Nu	Nu
Industrial	Da	Nu	Nu	Nu	Nu
Studii economice					
Aprecieri	Nu	Nu	Nu	Da	Da
Studii de etapă	Nu	Nu	Da	Da	Nu
Studii de condiții industriale	Da	Da	Da	Nu	Nu
Studii economice, proiecte de exploatare	Da	Da	Nu	Nu	Nu

Tabelul XIV.3

Clasificarea rezervelor pe categorii după gradul de cunoaștere (conturare)

Încadrarea zăcămîntului	Lucrări de explorare	A	B	C_1	C_2
Clasa I	Lucrări miniere [ ] 50 m / 100 m	3 laturi	2 laturi	1 latură	
	Foraje dispuse pe o rețea pătratică sau dreptunghiulară	—	50—100m	100—200 m	peste 200 m
Clasa II	Lucrări miniere [ ] 50 m / 50 m	4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi	1 latură
	Foraje	—	—	50—100m	100—200m
Clasa III	Lucrări miniere [ ] 25 m / 50 m	—	3—4 laturi	2—3 laturi	1—2 laturi
	Foraje	—	—	—	50—100 m

2.2. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ GRADUL DE PREGĂTIRE

După *gradul de pregătire*, ţinînd seama de condiţiile impuse de producţie, rezervele geologice se împart în:

— *rezerve deschise*, care au condiţiile create pentru a începe, în raza lor, lucrările de pregătire în vederea exploatării, avînd asigurate posibilităţile de transport al materialului în condiţiile de securitate minieră;

— *rezerve pregătite* sau *gata pentru exploatare* unde pot începe lucrările de abataj impuse de metoda aleasă, în condiţii totale de securitate minieră;

— *rezerve în curs de exploatare* situate în panourile intrate în exploatare.

2.3. CLASIFICAREA REZERVELOR GEOLOGICE DUPĂ POSIBILITĂŢILE DE VALORIFICARE

După *posibilităţile de valorificare*, în condiţiile tehnico-economice existente şi în perspectivă, rezervele geologice se clasifică în următoarele grupe:

— *rezerve geologice de bilanţ*, cuprinzînd rezervele care din punct de vedere tehnic şi economic pot constitui obiect de valorificare în condiţiile cerinţelor actuale ale economiei naţionale, fără restricţii impuse de avizele legale (construcţii, amenajări hidrotehnice, terenuri agricole, rezervaţii, monumente etc.);

— *rezerve geologice în afară de bilanţ*, cuprinzînd rezervele care în prezent nu pot constitui obiect de valorificare, în condiţiile cerinţelor economiei naţionale, dar se apreciază că prin progresul tehnic sau prin schimbarea condiţiilor economice actuale, pot fi valorificate în viitor.

2.3.1. CONDIŢII INDUSTRIALE ALE ZĂCĂMINTELOR

Indiferent de stadiul de cercetare în care se află zăcămîntul, concomitent cu evaluarea rezervelor este necesar să se stabilească sau să se aprecieze în linii mari şi condiţiile economice, în vederea clasificării rezervelor în bilanţ sau în afară de bilanţ.

Pentru a putea fi valorificate, zăcămintele trebuie să îndeplinească unele cerinţe privind cantitatea, calitatea, condiţiile de zăcămînt geologice-miniere precum şi condiţiile economice de valorificare, denumite *condiţii industriale*.

Principalele condiţii industriale pe tipuri de zăcămînt sînt:

a) **Pentru minereuri neferoase, auro-argentifere, feroase:**

— *conţinutul mediu minim* în component util echivalent al rezervelor clasificate în grupa de bilanţ pe întreg zăcămîntul;

— *conţinutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa de bilanţ;

— *conţinutul minim limită* în component util echivalent pe probe, pe baza căruia se face conturarea rezervelor de bilanţ în cazul existenţei unor treceri gradate de la util la steril;

— *conţinutul mediu minim* în component util echivalent pe unitatea de calcul, pentru rezervele clasificate în grupa în afară de bilanţ;

— *conţinutul mediu maxim* admis pe unitatea de calcul, pentru componenţii dăunători, în vederea conturării rezervelor de bilanţ.

Caracteristicile principale care determină separarea sorturilor industriale:

— *coeficientul de mineralizare* minim admis pe unitatea de calcul în cazul existenţei intercalaţiilor sterile care nu pot fi conturate pe baza lucrărilor de cercetare executate, dar care pot fi îndepărtate în procesul de exploatare;

— *grosimea maximă admisă* a intercalaţiilor sterile care se includ în calculul rezervelor;

— *grosimea minimă* a corpurilor de substanţă minerală utilă care se ia în considerare în calculul rezervelor, în funcţie de conţinuturile în componenţi utili şi dăunători sau *puterea minimă* care se defineşte ca produs al grosimii minime cu conţinutul mediu minim pe panou;

— *adîncimile maxime* pînă la care se calculează rezervele de bilanţ respectiv în afară de bilanţ, pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în subteran sau mixt, luîndu-se în considerare şi condiţiile hidrogeologice ale zăcămîntului;

— *coeficientul maxim de descopertare* pentru rezervele exploatabile în carieră.

Conţinutul în component util echivalent se exprimă în unităţi de component util principal şi se calculează în mod distinct pe sorturi industriale, prin echivalerea componenţilor utili secundari în component util principal, ţinînd seama de valoarea componenţilor.

Pentru zăcămintele exploatabile în subteran este necesar să se examineze mai multe variante de conţinut mediu minim pe unitatea de calcul şi zăcămînt, în cazul mineralizaţiilor cu limite nete, iar dacă mineralizaţia are limite difuze, este necesar să se studieze şi variante cu conţinut limită.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră este necesar să se examineze variante de conţinut limită şi conţinut mediu minim pe zăcămînt, variante de adîncime maximă de exploatare în carieră şi în subteran şi de indici de exploatare.

Determinarea parametrilor care definesc condiţiile industriale precum şi determinarea variantelor de calcul se face în funcţie de condiţiile geologice-miniere în care se găsesc zăcămîntul şi de natura substanţei minerale utile.

b) **Pentru cărbuni:**

— condiţiile de calitate se stabilesc pentru puterea calorifică şi conţinutul în cenuşă;

— condiţiile de grosime se referă la grosimea minimă utilă introdusă în calcul şi la grosimea maximă a intercalaţiilor sterile care se admit în calcul;

— coeficientul maxim de descopertare constituie, de asemenea, condiţie industrială importantă, pentru stabilirea limitei de exploatare la zi, precum şi repartizarea rezervelor de bilanţ şi în afară de bilanţ, în anumite situaţii.

c) Pentru **substanţe minerale nemetalifere şi roci utile:**

— condiţiile industriale se adaptează de la caz la caz, în funcţie de substanţă, criteriile impuse de domeniul de utilizare şi posibilităţile tehnice şi economice ale exploatării; rocile, de exemplu, se exploatează, în condiţii economice, numai în carieră.

Rezerve industriale reprezintă cantităţile de substanţe minerale utile care pot fi realizate în procesul de exploatare (curent sînt denumite *minereu sau cărbune la gura minei*) şi se stabilesc luînd ca bază rezervele geologice exploatabile, cuprinse într-un perimetru dat, ţinînd seama de o serie de factori determinaţi de metoda de exploatare preconizată (pierderi, diluţii).

Rezervele industriale se calculează în cadrul proiectelor de exploatare şi servesc la dimensionarea producţiei şi a investiţiilor.

3. PARAMETRII DE CALCUL AL REZERVELOR

Parametrii de calcul cantitativi și calitativi se stabilesc ca valori medii ale valorilor individuale obținute din lucrările de cercetare geologică, prin măsurare directă sau prin analize și determinări executate pe probe colectate din aceste lucrări.

Datele care caracterizează condițiile de zăcămînt se obțin prin studii geologice (mineralogice și petrografice), hidrogeologice, tehnologice, care se bazează pe elementele obținute din probările specifice fiecărui studiu în parte.

3.1. PARAMETRII PENTRU CALCULUL CANTITATIV AL REZERVELOR

Pentru calculul cantitativ al rezervelor este necesară determinarea parametrilor grosime, suprafață și greutate volumetrică.

Grosimea zăcămîntului se măsoară în mod obligatoriu numai în secțiunile de probare care în totalitate sau fracționat cuprind mineralizația din acoperiș pînă în culcuș. La zăcămintele complicate, cu o mineralizație dispusă foarte neuniform, în anumite cazuri de excepție se pot măsura în plus și grosimile la intervale regulate, situate între secțiunile de probare.

În cazul zăcămintelor care prezintă mare uniformitate a parametrilor calitativi (calcare, andezite, roci de construcție etc.) și nu necesită o probare pe o rețea deasă, grosimea se poate măsura și numai pe bază de cartare a lucrărilor sau deschiderilor naturale dispuse transversal pe zăcămînt.

De regulă, grosimea se măsoară perpendicular pe direcția generală a zăcămîntului.

Grosimea se poate determina în lucrări ca :

- grosime *aparentă*, într-o lucrare care străbate zăcămîntul sub un unghi oarecare;
- grosime *reală*, măsurată normal la direcția și înclinarea zăcămîntului;
- grosime *totală*, care cuprinde mineralizația utilă și intercalațiile sterile;
- grosime *utilă*, care cuprinde numai mineralizația utilă.

Grosimea reală se poate obține și din grosimea aparentă, prin corectarea acesteia, ținînd seama de unghiul format de direcția de măsurare a grosimii și normala la planul zăcămîntului.

În cazul zăcămintelor care nu prezintă limite nete, grosimea se stabilește strict numai în cadrul probelor acceptate în calculul conținutului mediu, la limita probelor cu un conținut minim limită (conținut marginal).

Pentru zăcămintele cu mai multe sorturi de minereu, grosimea se stabilește pentru fiecare sort de minereu în parte.

În toate cazurile, grosimea se recalculează după direcții normale la planul în care se măsoară suprafața care se introduce în calculul rezervelor.

Pentru zăcămintele exploatabile în carieră, în afara grosimii zăcămîntului se determină și grosimea copertei, în vederea stabilirii volumului acesteia și a coeficientului de dezvelire.

În cazul în care calculul rezervelor se efectuează prin metoda secțiunilor, grosimea medie nu intervine, de regulă, ca parametru de calcul.

Suprafața zăcămîntului, în totalitate sau pe unități de calcul, se determină în plan orizontal sau în plan vertical.

Suprafața se determină în planul orizontal pentru corpurile de substanțe minerale utile de formă tabulară (strate, filoane), lentiliformă, cu înclinare pînă la 45° precum și pentru corpurile de substanțe minerale utile izomerice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor orizontale.

Suprafața se determină în planul vertical pentru corpurile de substanță minerală utilă tabulare și lentiliforme cu înclinare peste 45° și pentru corpurile de substanță minerală utilă izometrice dacă rezervele se calculează prin metoda secțiunilor verticale.

Suprafața se determină de regulă prin proiecție și prin desfășurare.

În cazul zăcămintelor tabulare cu înclinare mare care prezintă schimbări de direcție, ce se mențin pe distanțe care depășesc lungimea unui panou de calcul, este indicat ca proiecția să se execute în planuri diferite, paralele cu direcția medie în porțiunile respective ale corpului de substanță minerală utilă.

La trasarea conturului suprafeței de calcul al rezervelor într-un anumit plan este necesar să se țină seama de felul și amplasarea lucrărilor de explorare ca și de metoda de calcul adoptată.

Suprafața poate fi delimitată prin lucrări de explorare sau de exploatare, pe bază de afloriminte sau prin limite convenționale.

Delimitarea suprafețelor prin punctele extreme de cunoaștere în zăcămînt se face admițînd o variație liniară între acestea.

Între punctele care au interceptat zăcămîntul și cele care nu l-au interceptat, limita suprafețelor luate în calculul rezervelor se stabilește la jumătatea distanței între aceste puncte sau în funcție de grosimea corpului de substanță minerală utilă și de unghiul mediu de cădere.

În afara punctelor extreme de cunoaștere în zăcămînt, limita convențională se stabilește după cum urmează :

— prin procedee geologice, cînd se ține seama de aria de răspîndire a rocilor purtătoare de mineralizație, de prezența elementelor chimice, mineralogice etc. ;

— prin procedee morfologice, în cazul zăcămintelor a căror grosime și conținut scad treptat spre periferie (folosindu-se metoda secțiunilor și izoliniilor).

Limita convențională a zăcămintelor se trasează la limita grosimii minime sau conținutului minim limită, dacă sînt stabilite prin studii de condiții industriale, sau efectuîndu-se mai multe variante de calcul pe baza unor criterii stabilite prin analogie cu alte zăcăminte similare.

La stabilirea scării planurilor se va avea în vedere necesitatea de a nu avea dimensiunile unităților de calcul mai mici de 5 cm.

Ariile suprafețelor de calcul se determină prin metode geometrice sau prin măsurare cu planimetrul sau cu abaca. În cazul măsurării suprafeței cu planimetrul sau cu abaca se execută trei măsurători. Diferența între ele nu trebuie să depășească 5%, în calculul luîndu-se valoarea medie a acestora.

Masa volumetrică se determină prin studii efectuate avînd la bază rezultatele probării tehnice constînd din :

— probe monolit (eșantioane) luate din locurile de colectare a probelor necesare stabilirii calității zăcămîntului; desimea punctelor de probare se stabilește în funcție de particularitățile de zăcămînt (din 10 în 10 probe pînă la 100 pentru zăcămintele uniforme); pe baza probei monolit se face determinarea masei volumetrice în laborator ;

— probe globale, prelevate în zone cu caracteristici calitative medii, raportîndu-se masa materialului obținut la volumul excavațiilor; excavațiile pot să difere de la

1 m³ pînă la sute de m³ atunci cînd probarea se face colectînd întregul material rezultat dintr-o galerie care traversează zăcămîntul.

Pe baza cercetărilor amănunțite efectuate în lucrările care străbat zăcămîntul se stabilește și un coeficient atribuit fisurațiilor și golurilor care nu pot fi determinate prin probele monolit și care în mod evident diminuează masa volumetrică.

3.2. STABILIREA CARACTERISTICILOR CALITATIVE ALE REZERVELOR

Pentru stabilirea caracteristicilor calitative se prelevează probe *chimice* sau *tehnice* adecvate tipului mineralizației și scopului propus privind valorificarea.

Probarea chimică servește la stabilirea conținutului în componenți utili și dăunători, cuprinzînd 4 operații principale : recoltarea, reducerea probelor, analiza chimică sau fizică, prelucrarea rezultatelor.

Recoltarea implică alegerea metodei de probare, stabilirea intervalului optim între probe, determinarea greutății optime a probei inițiale.

Pot fi aplicate mai multe metode de probare, în funcție de caracteristicile zăcămîntului (formă, dimensiuni, distribuția în spațiu a mineralizației și a componenților utili și dăunători), de metodica și etapele de cercetare (prospecțiune, explorare, exploatare), de starea minereului (dur, compact, afînat) și de scopul urmărit.

Cele mai obișnuite metode de colectare a probelor sînt prin *brazde*, prin *foraje în rețea*, prin *răzuire*, prin *găuri de mină*, prin *secționarea carotelor, globală* etc. (v. Secțiunea XII. Probarea zăcămintelor). Metoda de colectare a probelor influențează direct rezultatele obținute.

Distanța între punctele de colectare a probelor permite aprecierea gradului de cunoaștere ce poate fi obținut, determinînd costul lucrărilor de probare și caracterul reprezentativ al probării.

Distanța optimă între probe se stabilește experimental sau prin metode statistice.

Probele chimice se colectează din lucrările miniere sau din carotele recuperate din foraje.

În *lucrările miniere* metoda de probare cea mai utilizată este metoda brazdei. Lățimea brazdei este de circa 10 cm, iar adîncimea de circa 5 cm. Lungimea este în funcție de caracteristicile zăcămîntului, fiind de regulă de 1 m. Poziția și modul de execuție a brazdelor de probare depinde de grosimea zăcămîntului, de înclinarea acestuia și de lucrările din care se colectează probele. Direcția brazdelor trebuie să fie cît mai apropiată de direcția după care variatia componenților utili și dăunători este maximă.

Pentru corpurile de substanță minerlă utilă de formă tabulară și grosime foarte mică sau mică, colectarea probelor brazdă se execută din galerii direcționale și din suitori pe înclinare. Poziția brazdelor se urmărește să fie cît mai apropiată de normala la planul caracteristic de poziție al corpului de substanță minerală utilă.

Mineralizațiile (de regulă filoanele auro-argentifere) cu grosimi sub 0,10 m se probează prin răzuire sau prin brazde direcționale, indiferent de înclinare.

În general, echidistanța între probele colectate din zăcămintele cu grosime foarte mică și mică este cuprinsă între 3 și 10 m, în funcție de variația conținuturilor în componenți utili.

În cazul zăcămintelor cu formă tabulară sau de corpuri lenticulare cu grosime medie sau mare și înclinare mare, precum și în cazul zăcămintelor cu formă izometrică, probele se colectează în nișe și transversale de cercetare pe toată grosimea, săpate din galerii direcționale și uneori din suitori. Probele se colectează din pereții laterali ai lucrărilor cu poziția orizontală și se iau în brazde continui care se împart pe secțiuni.

În cazul zăcămintelor cu grosime medie sau mare și înclinare mică se colectează probe verticale continuu (care se împart pe secțiuni) din suitorile verticale.

Pentru zăcămintele cu formă tabulară sau lenticulară cu grosime medie sau mare și înclinare medie, probarea se execută fie în lucrări miniere orizontale, fie în lucrări miniere verticale care traversează zăcămîntul în întregime de la culcuș la acoperiș.

În cazul zăcămintelor cu formă de masiv, probele se colectează din galerii și suitori.

Colectarea probelor din carieră se face prin brazde continui împărțite în secțiuni, în funcție de înălțimea treptei de exploatare sau de grosimea zăcămîntului. Distanțele între punctele de colectare a probelor pe toată înălțimea treptei variază între 25 și 50 m.

În zăcămintele cu grosime mare la care nu se evidențiază o lege a distribuției în spațiu a componenților utili și pentru care explorarea se execută printr-o rețea pătratică de lucrări miniere, se probează sistematic toate lucrările executate în zăcămînt.

Locul de colectare a probelor se nivelează întotdeauna înainte de probare.

Pentru *foraje* se cere un recuperaj minim în util de 80%.

Colectarea probelor se face de regulă din carotă, iar informativ din detritus. Pentru colectarea probelor din carotă, aceasta se secționează axial (manual sau mecanic), o parte constituind proba recoltată.

Lungimile secțiunilor de probare variază, în general, între 1 și 5 m, în raport de gradul de variație al repartiției componenților utili, în funcție de grosimea zăcămîntului, de lungimea carotelor și de gradul de recuperare a carotei. Din util, probele se colectează continuu.

Carotajul mecanic se completează cu datele rezultate din carotajul geofizic (v. Secțiunea XIII. Carotajul geofizic).

Reducerea probelor chimice trebuie să asigure obținerea conținutului real din locul de colectare. Acest lucru se realizează prin sfărîmare, măcinare, omogenizare și reducere.

Schema de prelucrare a probelor se alege în funcție de variația distribuției componenților utili.

La reducerea probelor se utilizează formula : $Q = kd^2$, în care Q este greutatea probei în kg, iar d — diametrul maxim al particulelor din probă în mm. În general, k variază între 0,1 pentru zăcămintele mai uniforme, 0,4 pentru zăcămintele relativ uniforme, pînă la 2,0 pentru zăcămintele extrem de neuniforme.

La fiecare reducere a probei este necesar să se respecte raportul între Q și d, stabilit de relația de mai sus.

Materialul rămas după reducerea probei se împarte astfel încît să se poată executa toate analizele (de bază, de control intern și extern) și să se păstreze și o parte ca martor în magazia de probe.

În general, pentru determinarea conținuturilor în componenți utili și dăunători secundari, este indicată unificarea probelor, cu scopul de a se reduce numărul de analize și a mări operativitatea probării.

Unificarea probelor se face după reducerea acestora, luînd din fiecare probă cantități proporționale cu greutatea lor. În general, lungimea pe care s-au colectat mai multe probe ce se supun unei singure analize nu trebuie să depășească 10 m. Întotdeauna gruparea probelor se face pe sorturi.

Analizarea probelor de bază, control extern și intern al analizelor chimice în scopul verificării exactității analizelor de bază. Materialul final rezultat de la reducerea

probelor recoltate din lucrările de explorare se expediază la un laborator autorizat, care are omologate metodele de determinare pentru componenții indicați.

Pentru verificarea exactității analizelor de bază se execută controlul intern și controlul extern.

Controlul intern se execută la laboratorul de bază, în proporție de 5—10% sau pentru fiecare a 10-a sau a 20-a probă (minimum 10—15 probe pe trimestru) și are ca scop scoaterea în evidență a erorilor incidentale influențate de modul de lucru al laboratorului.

Dacă analizele de control intern pun în evidență erori incidentale ce depășesc limitele admise, stabilite pentru fiecare substanță separat, datele analizelor de bază din perioada la care se referă controlul intern nu se introduc în calculul rezervelor.

Controlul extern se execută într-un laborator autorizat și are ca scop evidențierea unor erori sistematice în lucrările laboratorului chimic de bază în cursul unei perioade. Prin control extern se verifică și datele de analiză sau conținuturile exagerat de mari.

Controlul extern se execută în proporție de minimum 5% sau pentru fiecare a 20-a probă, iar pentru a stabili un coeficient de corecție sînt necesare minimum 10% din numărul analizelor de bază. Numărul probelor pentru care se execută controlul extern nu trebuie să fie mai mic de 30.

Pe măsura obținerii datelor de la laboratorul de bază, conținuturile se calculează pe lucrări de explorare, pe suprafețe conturate în corpul de substanță minerală utilă explorat, pe unități de calcul (panouri, blocuri etc.).

Conținuturile medii calculate pe lucrări, pe aliniamente de explorare sau pe suprafețe conturate, constituie valori intermediare în calculul conținuturilor medii pe panouri.

Cele mai uzuale procedee de calcul al conținuturilor medii sînt *procedeul mediei aritmetice* și *procedeul mediei ponderate*.

a) *Procedeul mediei aritmetice*, folosește pentru calcularea conținutului mediu relația:

$$c_m = \frac{\Sigma c_i}{n}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probă individuală; n — numărul probelor.

b) *Procedeul mediei ponderate* implică un volum mare de calcule și din acest motiv nu se aplică decît în anumite cazuri și anume:

— în cazul probelor colectate pe secțiuni cu lungimi variabile (l_i), calculul conținuturilor medii pe lucrări (c_m) se face prin *medie ponderată în raport cu lungimile probelor*, cu formula:

$$c_m = \frac{\Sigma c_i \cdot l_i}{\Sigma l_i}$$

în care: c_i este conținutul mediu pe secțiune, care se calculează cu aceeași formulă, iar l_i și c_i reprezintă valorile pe probe; l_i — lungimile probelor respective.

— pentru un număr limitat de probe (10—15), dispuse neuniform pe panoul de calcul sau a căror date de analiză prezintă variații mari, *prin ponderare în raport cu lungimea L, a zonei de influență a secțiunilor*, cu formula:

$$c_m = \frac{\Sigma c_i L_i}{\Sigma L_i}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probe individuale; L_i — lungimea de influență;

— calculul prin *ponderare în raport cu lungimea secțiunii de probare* (grosimea g_i a zăcămîntului măsurată în transversale) *și cu zona de influență* L_i se face cu formula:

$$c_m = \frac{\Sigma c_i g_i L_i}{\Sigma g_i L_i}$$

în care: c_m este conținutul mediu; c_i — conținutul pe probe individuale; g_i — grosimea zăcămîntului măsurată în locul de probare; L_i — lungimea de influență.

— în cazul explorării prin foraje, calculul se face prin *ponderare în raport cu volumul teoretic al carotei și volumul teoretic al detritusului produs pe un metru liniar de gaură de sondă*. Volumul teoretic al carotei și al detritusului pe un metru liniar de gaură de sondă se calculează prin formule sau se apreciază în procente față de volumul găurii de sondă.

Formulele utilizate în acest scop sînt următoarele:

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{100}; \qquad V_d = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\frac{r}{100};$$

V_c și V_d reprezentînd volumele teoretice de carotă respectiv detritus pe un metru liniar de gaura de sondă; D și d — diametrul găurii de sondă respectiv al carotei; r — recuperajul în util, în %.

În cazul forajului cu alice este necesară trecerea detritusului printr-un separator magnetic, în scopul curățirii lui de sfărîmături de alice.

Exactitatea analizelor chimice ale probelor se verifică prin *analize de control intern și extern*, care *se prelucrează statistic* în mod periodic, după cum urmează:

Pe baza rezultatelor analizelor de control intern se calculează *eroarea medie întîmplătoare (incidentală) relativă* cu ajutorul formulei:

$$e_m = \frac{\sum_{k=1}^{n} |c_{ik} - c_{bk}|}{2n\bar{c}_b} \cdot 100 \quad [\%]$$

în care: e_m este eroarea medie întîmplătoare; c_i — conținutul dat de analiza de control intern; c_b — conținutul dat de analiza de bază; n — numărul analizelor de control.

Pentru stabilirea existenței și mărimii erorilor sistematice puse în evidență de controlul extern, se efectuează următoarele calcule:

Conținutul mediu:

— pentru analiza de bază

$$\bar{c}_b = \frac{\sum_{k=1}^{n} c_{bk}}{n}$$

- pentru analiza de control extern

$$\bar{c}_e = \frac{\sum_{k=1}^{n} c_{ek}}{n}$$

unde: c_b este conținutul probei de bază; c_e — conținutul probei de control extern; n — numărul probelor controlate.

Coeficientul de corecție datorită erorii sistematice (f)

$$f = \frac{\bar{c}_e}{\bar{c}_b}$$

Dacă $0{,}95 < f < 1{,}05$ se admite că practic analizele de bază nu au fost afectate de o eroare sistematică.

Dacă f este în afara intervalului cuprins între 0,95 și 1,05, prelucrarea statistică este continuată cu următoarele calcule:

Stabilirea abaterii medii pătratice a conținuturilor medii (m_b = abaterea pentru analizele de bază; m_e = abaterea pentru analizele de control extern):

$$m_b = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2}{n(n-1)}}$$

$$m_e = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2}{n(n-1)}}$$

Stabilirea coeficientului de corelație dintre analizele de bază și cele de control extern (r):

$$r = \frac{\sum_{k=1}^{n} c_{bk} \cdot c_{ek} - n\bar{c}_b \cdot \bar{c}_e}{\sqrt{\left[\sum_{k=1}^{n} (c_{bk})^2 - n\bar{c}_b^2\right] \cdot \left[\sum_{k=1}^{n} (c_{ek})^2 - n\bar{c}_e^2\right]}}$$

Stabilirea coeficientului de probabilitate al existenței erorii sistematice (t):

$$t = \frac{|\bar{c}_b - \bar{c}_e|}{\sqrt{m_b^2 + m_e^2 - 2rm_b m_e}}$$

Dacă $t \leqslant 2$ nu există eroare sistematică; dacă $t > 2$ există eroare sistematică.

Înlocuirea probelor excepționale. În cazul zăcămintelor cu o repartiție neuniformă a componenților utili, analizele probelor chimice pot pune în evidență unele probe cu conținuturi excepționale.

Se consideră că o probă este excepțională într-o unitate de calcul dacă împărțind cantitatea de rezerve Q din unitatea de calcul la numărul probelor n colectate, nu se poate accepta pe baza cunoașterii geologice obținute, că în acea unitate de calcul există Q/n rezerve cu conținuturile probei excepționale.

În cazul probelor excepționale se reface analiza. Dacă rezultatul reanalizării confirmă conținutul inițial, se reprobează locul de unde a fost colectată proba respectivă; dacă analiza indică un conținut normal, acesta se introduce în calculul conținuturilor.

Dacă analiza confirmă din nou conținutul inițial, se procedează astfel:

— în cazul unei unități de calcul cu mai mult de 50 de probe, se ia în calculul conținuturilor conținutul probei excepționale;

— în cazul unei unități de calcul cu mai puțin de 50 de probe conținutul probei excepționale se înlocuiește cu media conținuturilor probelor care o încadrează (5—10 probe de o parte și de alta) sau prin conținutul mediu calculat cu proba excepțională (pe lucrare sau pe panou) sau prin alte procedee, dîndu-se justificările necesare.

3.3. STABILIREA CONDIȚIILOR DE ZĂCĂMÎNT

Pentru stabilirea condițiilor de zăcămînt se efectuează studii, după cum urmează:

a) Studii *geologice* complexe, bazate pe cartarea tuturor lucrărilor executate precum și a deschiderilor naturale, coroborate cu măsurători geofizice, geochimice etc.

b) Studii *mineralogice și petrografice* bazate pe datele obținute din probarea mineralogică.

c) Studii cu privire la *gradul de tectonizare*, bazate pe cartări geologice și analize cu privire la microtectonica zăcămîntului.

d) Studii *hidrogeologice* bazate pe măsurători ale debitelor de apă în diferite condiții de regim, anotimpuri, dinamice etc.

e) Studii *tehnice* care se bazează pe datele obținute prin probarea tehnică. Aceasta are ca scop determinarea greutății volumetrice, a umidității, compactității, porozității, tăriei (durității), fisurației, stabilității rocilor în lucrările de exploatare, rezistenței de rupere la sec, rezistenței la sfărîmare și coeficientului de afînare.

f) Studii *tehnologice* care se execută pentru obținerea unor parametri industriali privind tehnologia de exploatare și tehnologia de preparare prelucrare.

Studiile tehnologice au la bază datele obținute din probarea tehnologică, care diferă în funcție de natura substanței, etapa de cercetare, scopul final propus în tema de cercetare.

Probarea tehnologică de exploatare se execută în scopul determinării posibilităților și condițiilor de exploatare a zăcămîntului precum și stabilirii unor parametri industriali (diluție, pierderi, consumuri specifice, productivitate) necesari întocmirii studiilor de condiții industriale și, dacă este cazul, a proiectului de punere în exploatare.

De regulă, probarea tehnologică de exploatare (uzual denumită abataje experimentale) se execută în etapa de explorare de detaliu sau după încheierea lucrărilor de explorare detaliată.

Probarea tehnologică pentru preparare are scopul de a furniza date privind fluxul tehnologic cel mai indicat pentru obținerea unui produs valorificabil și stabilirea într-o etapă avansată de cercetare a unor parametri necesari pentru elaborarea studiilor de condiții industriale sau pentru întocmirea proiectelor de punere în exploatare.

Probarea tehnologică de preparare se efectuează în toate etapele de cercetare geologică (prospecțiune, explorare și exploatare; tabelul XV. 4).

Tabelul XIV. 4

Probele tehnologice pe fazele de cercetare

Faza de încercare	Cantitate	Instalaţie	Se obţin date privind:	Etapa de cercetare în care se execută
Laborator	10—500 kg	Laborator	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociaţie de minerale şi concrescenţă). Metode de preparare. Flux tehnologic informativ. Parametri informativi privind extracţia în componenţi utili	Prospecţiune şi explorare preliminară (rezerve categ. C_2 şi în unele cazuri categ. C_1)
Pilot	10—100 t	Instalaţie pilot 2—12 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Caracterizarea materialului (asociaţie de minerale şi concrescenţă). Flux tehnologic de preparare. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Extracţie în greutate. Extracţie în componenţi utili. Consum informativ reactivi.	Explorare preliminară şi de detaliu (rezerve categ. C_1 şi în unele cazuri categ. B)
Semiindustrial	500—1500 t	Instalaţie semiindustrială 20—40 t/zi	Caracteristici calitative medii ale probei. Flux tehnologic de preparare optim. Grad de sfărîmare. Sorturi de concentrate. Calitatea concentratelor. Extracţie în greutate. Extracţie în componenţi utili. Consumuri specifice de energie, materiale şi reactivi.	Explorare de detaliu (rezerve categ. C_1, categ. B şi în unele cazuri categ. A)
Industrial	Peste 1500 t	Instalaţie în funcţiune de la 125 t/zi	Verificarea şi îmbunătăţirea fluxului tehnologic de preparare în vederea ameliorării parametrilor de extracţie.	Explorare de detaliu şi exploatare (rezerve de categ. B şi categ. A)

4. METODE DE CALCUL AL REZERVELOR

În calcularea rezervelor pot fi aplicate metode de calcul clasice sau geometrice, utilizînd parametrii determinaţi prin metode obişnuite sau utilizînd parametrii obţinuţi prin calcule statistico-matematice şi geostatistice.

În cazul aplicării metodelor de calcul clasice obişnuite, stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul se face astfel:

Grosimea medie se stabileşte prin medie aritmetică simplă dacă repartiţia punctelor de măsurare în zăcămînt este destul de uniformă sau dacă nu există variaţii continui şi uniforme de grosime; în celelalte cazuri grosimea medie se stabileşte prin medie ponderată în raport cu lungimea de influenţă a locurilor în care s-au făcut măsurători. Lungimea de influenţă a locului de măsurare a grosimii este egală cu suma jumătăţilor dintre acestea şi locurile vecine în care s-au executat măsurătorile.

Conţinuturile medii se calculează, în cele mai multe cazuri, prin medie aritmetică simplă sau ponderată. Calculul conţinuturilor se face prin *medie aritmetică ponderată* în următoarele cazuri:

— în cazul probelor colectate pe secţiuni cu lungimi variate şi se ponderează în raport cu lungimile secţiunilor probelor;

— pentru un număr limitat de probe (10—15), dispuse într-un mod neuniform în cadrul unităţii de calcul sau a căror date de analiză prezintă variaţii mari, conţinuturile se calculează prin ponderare în raport cu zona de influienţă a probelor, apoi pe suprafeţe de calcul prin ponderare în raport cu lungimea lucrărilor (sau cu grosimea zăcămîntului) şi cu distanţa între lucrări şi pe unităţi de calcul prin ponderare în raport cu mărimea suprafeţelor;

— în cazul grosimilor variabile, sau dacă există o relaţie între grosime şi conţinut se ponderează în raport cu grosimea.

În celelalte cazuri, conţinuturile se calculează, în general, prin medie aritmetică simplă, cu excepţia calculului conţinuturilor pe categorii de rezerve, care se execută prin ponderare în raport cu rezervele panourilor.

Alegerea metodei de calcul al rezervelor se face în funcţie de următorii factori:

— metodica de explorare aplicată;

— forma şi înclinarea corpurilor de substanţă minerală utilă;

— dimensiunile corpurilor din care este alcătuit zăcămîntul;

— situarea în spaţiu a corpurilor de substanţă minerală utilă şi raporturile dintre acestea;

— metodele de exploatare aplicate sau cele preconizate în cazul zăcămintelor noi (eventual).

Cele mai utilizate metode clasice pentru calculul rezervelor sînt următoarele:

— *Metoda blocurilor geologice*, avînd ca unitate de calcul blocul delimitat pe criterii geologice, ţinînd seama şi de sistemul de explorare; este folosită în special în faza de explorare preliminară (în special la rezervele de categoria C_2), pentru zăcămintele cercetate cu lucrări miniere şi foraje executate separat sau împreună.

— *Metoda panourilor (blocurilor)* de exploatare, avînd ca unitate de calcul panoul sau blocul delimitat de lucrări amplasate pe o reţea stabilită în funcţie de tipul de zăcămînt şi metoda de exploatare preconizată; metoda este folosită în faza de explorare preliminară şi de detaliu (rezerve de categoria C_1, B şi A), pentru zăcămintele cercetate în mare măsură prin lucrări miniere pe direcţie şi înclinare, care delimitează panouri de exploatare.

— *Metoda secțiunilor*, în special varianta cu secțiuni orizontale, care este folosită în cazul zăcămintelor cu grosime medie și mare, în cazul zăcămintelor masive (stock-uri) cu coloane, sau lentile cu grosime mare, explorate la diverse nivele (orizonturi) prin lucrări miniere.

Varianta cu *secțiuni verticale* este folosită în cazul explorării prin foraje sau puțuri dispuse pe aliniamente combinate, eventual cu lucrări miniere orizontale.

— *Metoda poligoanelor*, numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe*, care se folosește în cazuri mai rare, în situația cînd lucrările de cercetare nu sînt dispuse sistematic.

— *Metoda triunghiurilor*

4.1. METODA BLOCURILOR GEOLOGICE

Pentru calculul rezervelor, suprafața corpului de substanță minerală (în proiecție orizontală sau verticală) se împarte într-o serie de figuri reprezentînd bazele unor poliedre echivalente cu părțile corespunzătoare din zăcămînt (fig. XIV.1.).

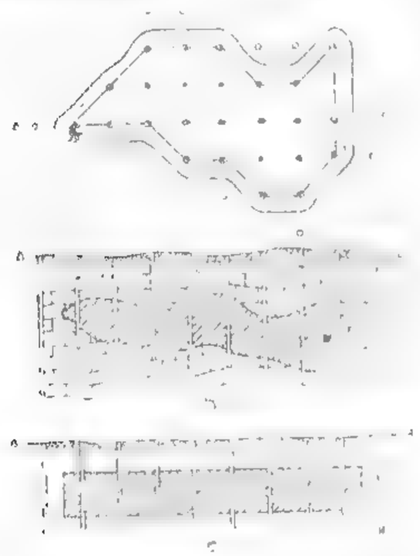


Fig. XIV.1. Schema transformării formei corpului de substanță minerală pentru calculul rezervelor prin metoda blocurilor geologice

a — planul corpului de substanță minerală utilă conturat pe baza lucrărilor de explorare prin cele trei linii de contur (interior mediu și exterior); *b* — secțiune verticală, în corpul de substanță minerală utilă după direcția *AB*; *c* — schița corpului de substanță minerală utilă în secțiune verticală după direcția *AB*, după transformare (asimilare) într-u bloc cu înălțimea (grosimea) constantă

— • — • — • — contur interior; — — — contur mediu; ~ contur exterior; ● — lucrări (foraje sau puțuri) care au intersectat zăcămîntul; o — lucrări care nu au intersectat zăcămîntul.

Calculul rezervelor se face după cele ce urmează.

Pentru un zăcămînt unde nu s-a stabilit existența unor relații între conținut, grosime și masă volumetrică, valorile medii ale acestor parametri se calculează ca medie aritmetică simplă (*cazul particular, cînd întreg zăcămîntul se prezintă un singur bloc* (fig. XIV.1).

$$Q = V \cdot \bar{\gamma}_m$$

$$V = S \cdot \bar{g}_m$$

$$\bar{\gamma}_m = \frac{\Sigma \gamma_i}{n} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \ldots + \gamma_n}{n}$$

$$\bar{g}_m = \frac{\Sigma g_i}{n} = \frac{g_1 + g_2 + \ldots + g_n}{n}$$

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma c_i}{n} = \frac{c_1 + c_2 + \ldots + c_n}{n}$$

unde: Q este cantitatea de rezervă, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața de calculare; $\bar{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie, t/m³; γ_i — masa volumetrică a fiecărei măsurători ($i = 1, \ldots n$), t/m³; $\bar{g}_m$ — grosimea medie a blocului, m; g_i — grosimile măsurate în fiecare secțiune de probare, m; $\bar{c}_m$ — conținutul mediu în component util, % sau g/t; c_i — conținutul în component util al probelor pe secțiuni de probare, % sau g/t; n — numărul punctelor de observație.

Determinarea masei volumetrice, a conținutului mediu pe un bloc sau pe un regul corp de substanță minerală se poate face folosind tabelul sinoptic XIV.5

Tabelul XIV.5

Stabilirea valorilor medii ale parametrilor de calcul al rezervelor

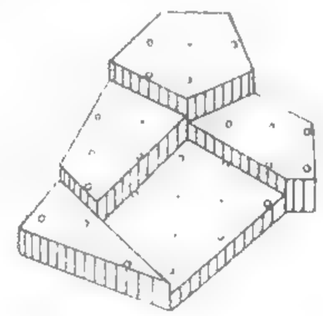
Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g [m]	Masă volumetrică, γ [t/m³]	Conținut, c [%]
1	Foraj 1024	1,5	2,8	0,6
2	Foraj 1025	1,0	2,9	0,7
3	Foraj 1026	2,3	3,1	0,8
4	Foraj 1027	1,4	3,0	0,7
5	Puțul 1	0,8	2,7	0,[illegible]
6	Puțul 2	0,7	2,7	0,4
.	.	.	.	.
20	Foraj 2030	1,0	2,8	0,6
Σ = 20	Total	Σ = 20,0	Σ = 60,0	Σ 14,0
	Mediu	$g_m = 1,0$	$\gamma_m = 3,0$	$c_m = 0,7$

Cazul mai multor blocuri încadrate în aceeași categorie de rezerve (fig. XIV.2);

$$Q = \Sigma Q_i = Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n$$

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma Q_i c_i}{\Sigma Q_i} = \frac{Q_1 c_1 + Q_2 c_2 + \ldots + Q_n c_n}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n}$$

Fig. XIV.2. Transformarea corpului de substanță minerală utilă în figuri echivalente alăturate (blocuri) de diferite mărimi, în vederea calculului rezervelor prin metoda blocurilor geologice.



unde: Q este cantitatea totală de rezerve, t; Q_i — cantitatea de rezervă a fiecărui bloc ($i = 1, \ldots n$); $\bar{c}_m$ — conținutul mediu în component util sau dăunător, % sau g/t; c_i — conținutul mediu în component util sau dăunător al fiecărui bloc, % sau g/t; n — numărul blocurilor.

Determinarea conținutului mediu pe întregul zăcământ se poate face folosind tabelul XIV.6

Folosind același tabel se poate determina și grosimea medie a zăcământului și masa volumetrică medie dacă se solicită acest lucru de către beneficiar.

Tabelul XIV.6

Calculul conținutului mediu pe întregul zăcământ

Nr. crt.	Denumirea blocului	Cantitate de rezerve, Q_i [t]	Conținut mediu, c_i [%]	Putere (cantitate de metal), $Q_i c_i$ [kg sau t]
1	Bloc 1	5 000	0,8	40
2	Bloc 2	7 000	0,7	49
3	Bloc 3	10 000	1,0	100
4	Bloc 4	8 000	0,9	72
5	Bloc 5	4 000	1,2	48
.	⋮	⋮	⋮	⋮
10	Bloc 10	15 000	1,0	150
Σ 10	Total	100 000		900
	Media		0,90	

— **Pentru zăcămintele unde s-a stabilit existența unei relații directe sau inverse între conținutul în componenți utili și grosimea corpului de substanță minerală utilă**, calculul conținutului în componenți utili al acestuia se determină nu ca medie aritmetică, ci ca medie ponderată cu grosimea măsurată în locul colectărilor probelor din zăcământ, folosindu-se formula:

$$\bar{c}_m = \frac{\Sigma c_i g_i}{\Sigma g_i}$$

în care: $\bar{c}_m$ este conținutul mediu al componentului util sau dăunător, %, sau g/t; c_i — conținutul în component util al fiecărei probe, % sau g/t; g_i — grosimile măsurate în fiecare probă (sau secțiune de probare), m.

Determinarea conținutului mediu al blocului prin ponderare după grosime se poate face folosind tabelul XIV. 7.

Metoda blocurilor geologice poate fi folosită — cu mici excepții — în toate cazurile, avînd grijă ca împărțirea pe blocuri să se facă pe baza unor criterii obiective, astfel ca prin însumarea blocurilor să nu influențeze asupra parametrilor care caracterizează calitatea medie a zăcământului.

Metoda blocurilor geologice dă rezultate bune în următoarele cazuri:

— cînd există un număr mare de date referitoare la zăcământ;

— în cazul unei repartiții uniforme a lucrărilor de explorare în limitele unui bloc geologic;

— cînd conținuturile în componenți utili și grosimile corpului de substanță minerală utilă variază puțin.

Avantajul metodei constă în simplitatea efectuării materialelor grafice și a calculelor.

Dezavantajele metodei constau în mica precizie a calculelor în cazul zăcămintelor complicate și în cazul repartizării neuniforme a lucrărilor de cercetare și de probare.

Tabelul XIV.7

Calculul conținutului mediu prin ponderare după grosime

Nr. crt.	Lucrarea de explorare	Grosime, g_i [m]	Conținut, c_i [%]	Produs $g_i \cdot c_i$
1	Puț 1	1,3	0,7	0,91
2	Puț 2	1,5	0,6	0,90
3	Sonda 1005	0,4	0,8	0,32
4	Sonda 1006	0,8	1,0	0,80
.	⋮	⋮	⋮	⋮
10	Puț 16	1,6	1,2	1,92
Σ 10	Total	12,0		12,0
	Medie		1,0	

4.2. METODA PANOURILOR SAU BLOCURILOR DE EXPLOATARE

Pentru calculul rezervelor, zăcămîntul se împarte în panouri sau blocuri mai mici prin diferite moduri (galerii, suitori) sau pe baza unor delimitări care corespund limitelor unor panouri de exploatare sau blocurilor (cazul extrapolarii).

Această metodă este foarte mult folosită la calculul rezervelor zăcămintelor de substanțe minerale utile de formă filoniană sau de strate cu grosime mică la care exploatarea se face prin lucrări miniere (galerii direcționale și suitori). Corpul de substanță minerală utilă este împărțit prin lucrările miniere respective în porțiuni conturate pe 2—4 laturi (fig. XIV.3.).

Panourile sau blocurile de exploatare sînt, deci, niște paralelipipede ale căror înălțimi sînt egale cu grosimea medie a corpului de substanță minerală cuprins în limitele stabilite, iar baza este suprafața blocului.

Rezervele de substanță minerală utilă se calculează mai întîi pe fiecare panou separat, apoi prin însumarea rezervelor tuturor panourilor se determină rezerva totală.

Construcția grafică pentru calculul rezervelor constă în reprezentarea proiecției lucrărilor miniere de explorare sau de exploatare care delimitează corpul de substanță minerală utilă pe panouri, luîndu-se ca bază datele topografice. Atunci cînd corpul de substanță minerală utilă are un unghi de înclinare mai mare de 45°, proiecția se construește de obicei în planul vertical sau în planul zăcămîntului

Cînd unghiul de înclinare a corpului este mai mic de 45°, proiecția se construește în plan orizontal.

Pe planurile cu proiecțiile lucrărilor care delimitează panourile se marchează numărul probelor, punctele de colectare a acestora din corpul de substanță minerală utilă.

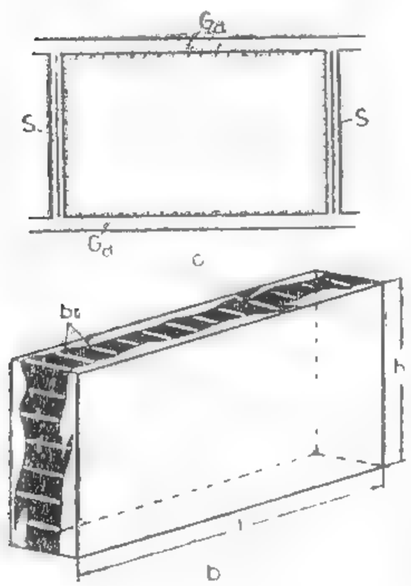


Fig. XIV.3. Schema unui bloc conturat pe patru laturi cu lucrări miniere:

a — proiecția blocului în planul filonului; *S* — suitoare; *Gd* — galerie direcțională; *b* — schema imaginii blocului; *l* — lungimea blocului; *h* — înălțimea blocului; *br* — brazde de probare.

Important este ca secțiunile de probare (din acoperiș la culcuș) de unde în mod obligatoriu se măsoară și grosimile să fie perpendiculare pe suprafața care se introduce în calcul (proiectată, de regulă, sau desfășurată), iar în cazul cînd secțiunile apar sub un unghi față de plan, să se calculeze corecțiile respective, pe bază de formule trigonometrice sau construcții grafice. În mod curent, acest deziderat se urmărește încă din faza de explorare, probele fiind luate în poziție orizontală, perpendicular pe direcția medie a zăcămîntului pentru corpurile cu înclinare mare (peste 45°) sau în poziție verticală pentru corpurile cu înclinare mică (sub 45°).

Calculul rezervelor se face individual, pe fiecare panou în parte, pe măsura executării lucrărilor și obținerii rezultatelor analizelor de laborator.

Calculul rezervelor se face după cum urmează:

a) Cazul, cînd *grosimea corpului mineralizat este mică și nu depășește profilul lucrărilor miniere care delimitează panoul* (blocul) (2 galerii direcționale amplasate la două nivele și 2 suitori amplasate la distanța de 50—100 m).

— În situația unei distribuții uniforme a probelor pe lucrările de contur și cînd componenții utili au o repartiție uniformă, în ipoteza că nu există nici o relație între conținutul și grosimea corpului de substanță minerală utilă, se poate aplica în calcul media aritmetică, după cum urmează:

$$Q = V \cdot \overline{\gamma}_m; \quad V = S \cdot \overline{g}_m; \quad S = h \cdot l;$$

$$\overline{\gamma}_m = \frac{\Sigma\gamma_i}{n}; \quad \overline{g}_m = \frac{\Sigma g_i}{n}; \quad \overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i}{n};$$

unde: Q este cantitatea de rezerve, t; V — volumul rezervelor, m³; S — suprafața panoului în m², proiectată sau desfășurată; h — înălțimea panoului în m, măsurată pe verticală între două nivele (S proiectată) sau măsurată pe suitori (S desfășurată); l — lungimea panoului în m, măsurat între suitori pe plan (S proiectată) sau pe direcția galeriei (S desfășurată); $\overline{\gamma}_m$ — masa volumetrică medie a panoului, t/m³; γ_i — masa volumetrică (t/m³) determinată pe fiecare probă sau la a zecea sau douăzecea probă; $\overline{g}_m$ — grosimea medie a panoului, m; g_i — grosimea corpului de substanță minerală utilă după rezultatele probării; $\overline{c}_m$ — conținutul mediu al panoului în % sau g/t; c_i — conținutul fiecărei probe, % sau g/t; n — numărul de măsurări a grosimii, respectiv numărul probelor.

Pentru ca datele medii obținute pe fiecare lucrare să poată fi folosite în panourile învecinate (fig. XIV.4), este indicat ca efectuarea calculelor masei volumetrice, a grosimii și a conținutului să se facă astfel:

$$\overline{\gamma}_m = \frac{L_1\overline{\gamma}_1 + L_2\overline{\gamma}_2}{L_1 + L_2} + \frac{L_3\overline{\gamma}_3 + L_4\overline{\gamma}_4}{L_3 + L_4}$$

$$\overline{g}_m = \frac{L_1\overline{g}_1 + L_2\overline{g}_2 + L_3\overline{g}_3 + L_4\overline{g}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$$\overline{c}_m = \frac{L_1\overline{c}_1 + L_2\overline{c}_2 + L_3\overline{c}_3 + L_4\overline{c}_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

$L_1 - L_4$ — reprezintă lungimea lucrărilor care delimitează panoul; $\overline{\gamma}_1 - \overline{\gamma}_4$ — masa volumetrică medie determinată pentru fiecare lucrare; $\overline{g}_1 - \overline{g}_4$ — grosimea medie determinată pentru fiecare lucrare; $\overline{c}_1 - \overline{c}_4$ — conținutul mediu pe fiecare lucrare.

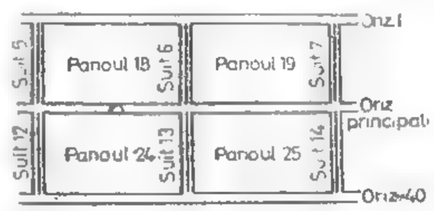


Fig. XIV.4. Schema dispunerii blocurilor învecinate.

Cînd panoul este delimitat de un număr mai mic de lucrări, se iau în considerare datele obținute numai din lucrările executate, folosind aceleași formule simplificate.

— În situația cînd distanța dintre probe nu este egală, masa volumetrică medie și conținutul mediu se determină prin ponderare ținînd seama de lungimea de influență a fiecărei probe (l), după formulele:

$$\overline{\gamma}_m = \frac{\Sigma\gamma_i l_i}{\Sigma l_i}; \quad \overline{g}_m = \frac{\Sigma g_i l_i}{\Sigma l_i}; \quad \overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i l_i}{\Sigma l_i};$$

unde: l_i este lungimea de influență, care se măsoară pe planuri și de obicei reprezintă jumătatea distanței de o parte și de alta a unei probe față de probele învecinate.

— În situația cînd există relație între grosime și conținut, la calcularea conținutului mediu se aplică formulele:

$$\overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i g_i}{\Sigma g_i},$$

cînd secțiunile de probare sînt echidistante și

$$\overline{c}_m = \frac{\Sigma c_i g_i l_i}{\Sigma g_i l_i},$$

cînd secțiunile de probare sînt amplasate la diferite distanțe.

Desfășurarea calculelor pe tabele — în situația cea mai simplă — se prezintă în tabelele XIV.8 și XIV.9.

Tabelul XIV.8

Parametrii de calcul al rezervelor pe secțiuni de probare

Nr. crt.	Denumirea probei (secț. de probare)	Masă volumetrică, γ [t/m³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%] sau [g/t]
1	Secț. 303	3,2	0,5	0,4
2	Secț. 304	3,0	1,0	0,3
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
100	Secț. 501	2,5	1,5	0,8
$n = 100$	Total	300	100	70
	Medie	3	1	0,7

Pentru ușurarea prezentării și verificării calculelor, tabelul XIV.9 poate fi împărțit în două, cantitatea de rezerve pe fiecare panou fiind înscrisă de două ori (coloană finală la primul tabel și cap de coloană la cel de al doilea).

Tabelul XIV.9

Parametrii de calcul al rezervelor pe panouri sau orizonturi

Nr. crt.	Panoul, orizontul	h [m]	l [m]	S [m²]	g_m [m]	V [m³]	γ [t/m³]	Q [t]	c_m [%]	Putere (metal) $Q \cdot c$
1										
.										
.										
.										
.										
25										
	Total									
	Medie									

Cînd calculele masei volumetrice, a grosimii medii și a conținutului mediu se fac pentru fiecare lucrare în parte, se introduce un tabel intermediar — tabelul XIV.10

Însumarea blocurilor se face după tabelul XIV.9 dat ca model.

Tabelul XIV.10

Parametrii de calcul al rezervelor după lucrarea de explorare

Lucrarea	Denumirea probei	Masă volumetrică, γ [t/m³]	Grosime, g [m]	Conținut, c [%]
1				
.				
.				
.				
.				
.				
50				
	Total			
	Medie			

Tabelul XIV.11

Parametrii de calcul al rezervelor pe lucrare de explorare și panou

Panou nr.	Lucrare		Masă volumetrică, γ		Grosime, g		Conținut, c	
	Poziție	[m]	[t/m³]	Putere	[m]	Putere	[%]	Putere
1	L_1							
2	L_2							
3	L_3							
4	L_4							
	Total							
	Medie							

În situația cînd calculul masei volumetrice, grosimii medii și conținutului mediu se face ținînd seama de lungimea de influență, se pot prezenta calculele în tabelul XIV.12.

Atunci cînd există relație între grosime și conținut, în tabele se introduc coloane ajutătoare care să permită efectuarea calculelor prin medie ponderată.

Tabelul XIV.12

Parametrii de calcul al rezervelor după lungimea de influență

Nr. crt.	Denumirea probei (secțiunii de probare)	Lungimea de influență, l [m]	Masă volumetrică		Grosime		Conținut	
			γ [t/m³]	Putere $\gamma \cdot l$	g [m]	Putere $g \cdot l$	c [%]	Putere $c \cdot l$
1	Secț. 303	10						
2	Secț. 304	15						
.								
.								
.								
.								
100	Secț. 501	8						
	Total							
	Medie							

b) Cazul cînd *grosimea corpului de substanță minerală utilă depășește lățimea galeriilor de explorare sau al zăcămintelor puternic tectonizate care nu pot fi urmărite continuu*, calculul rezervelor prin metoda panourilor de exploatare se realizează pe baza datelor obținute din lucrările care traversează corpul de substanță minerală utilă din acoperiș pînă în culcuș (transversale, suitori, foraje; fig. XIV.5.

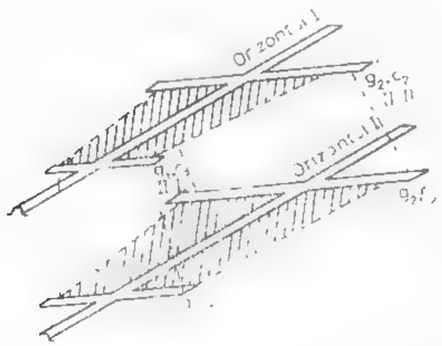


Fig. XIV.5. Schema conturării unui corp de substanță minerală utilă al cărui grosime depășește lățimea galeriei de explorare, în cazul calculului rezervelor prin metoda blocurilor de exploatare.

Desfășurarea calculelor pe tabele se face ca și în primul caz, introducîndu-se tabele intermediare pentru calcularea masei volumetrice, a grosimii medii și a conținutului mediu pe fiecare lucrare în parte și apoi pe laturi, însumînd fiecare lucrare în parte.

Extrapolarea datelor de la panourile cu lucrări efectuate și calculul rezervelor se poate face prin două procedee și anume

— în *trepte* (fig. XIV.6, *a*) sau în *pînză* (fig. XIV.6, *b*).

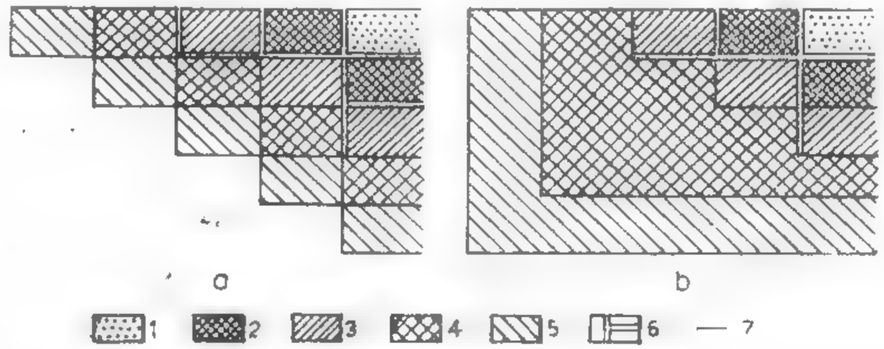


Fig. XIV.6. Schema de conturare a rezervelor extrapolate în adîncime:

a — în trepte; *b* — în pînză; *1* — porțiuni în exploatare; *2* — blocuri cu rezerve de categoria *A*; *3* — blocuri cu rezerve de categoria *B*; *4* — blocuri cu rezerve de categoria C_1; *5* — blocuri cu rezerve de categoria C_2; *6* — lucrări de explorare (galerii și suitori); *7* — conturul blocurilor.

Pentru fiecare caz în parte se pleacă de la considerente de ordin geologic, dînd o deosebită atenție variațiilor de grosime și conținut stabilite în diferite direcții ale zăcămîntului (pe înclinare și pe direcție).

Metoda panourilor sau blocurilor de exploatare se aplică frecvent pentru calculul rezervelor corpurilor de substanțe minerale utile simple sau complexe, cînd acestea apar sub formă tabulară (filoane și strate).

Avantajele calculului rezervelor prin metoda panourilor sau blocurilor de exploatare sînt următoarele:

simplitatea construcțiilor grafice și a tuturor operațiilor de calcul;

- calculul rezervelor poate fi folosit direct la planificarea și proiectarea lucrărilor de exploatare;

— permite separarea panourilor cu calități diferite ale substanței minerale utile.

Dezavantajele metodei constau în următoarele:

- se poate aplica numai atunci cînd corpul de substanță minerală utilă a fost împărțit, prin lucrări miniere, în panouri;

— se poate aplica avantajos numai la zăcămintele de formă tabulară.

4.3. METODA SECȚIUNILOR

Metoda secțiunilor se poate aplica în situația cînd lucrările de explorare sînt amplasate pe anumite aliniamente, pe cît posibil paralele pe o rețea cît mai uniformă; este necesar, de asemenea, ca lucrările să străbată în întregime corpul de substanță minerală utilă.

Se aplică atît la zăcămintele cercetate prin linii de explorare verticale, cît și la cele cercetate prin linii de explorare orizontale (pe orizonturi). Liniile de explorare care secționează corpul de substanță utilă permit construcția secțiunilor geologice necesare calculului de rezerve.

După modul în care se execută secțiunile prin zăcămînt, se disting două variante ale acestei metode:

— metoda *secțiunilor verticale*, care se aplică în situația cînd explorarea s-a făcut în mare parte prin foraje sau puțuri;

— metoda *secțiunilor orizontale* care se folosește atunci cînd explorarea s-a făcut în bună parte prin lucrări miniere și foraje amplasate la diferite nivele (orizonturi de explorare).

Secțiunile geologice împart corpul de substanță utilă în blocuri separate prin două plane de secțiune sau, în cazul blocurilor marginale, de un plan de secțiune și de suprafața neregulată a zăcămîntului (fig. XIV.7).

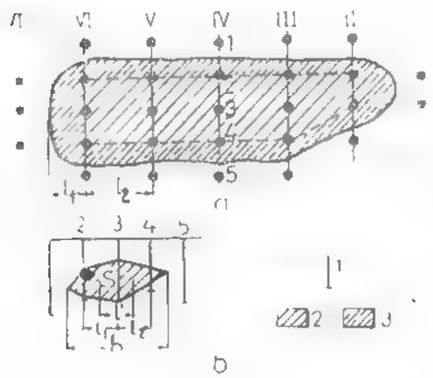


Fig. XIV.7. Schema dispunerii blocurilor de calcul în cazul rezervelor calculate prin metoda secțiunilor:

a — plan; *b* — secțiune pe linia IV; *1* — lucrări miniere de explorare; *2* — suprafața corpului de substanță minerală utilă; *3* — suprafața zonei exterioare

Ambele variante de calcul au aceleași principii de calcul al rezervelor.

Rezervele de substanță și de componenți utili se determină pentru fiecare bloc separat.

Volumul blocului (V) se calculează ca produsul dintre suprafața unei secțiuni medii (S_{1-2}) și distanța (l_{1-2}), care se determină prin măsurarea distanței dintre secțiuni.

Suprafața secțiunii este indicat să se măsoare prin planimetrare sau cu ajutorul paletei; dacă secțiunea prezintă o formă mai regulată, aceasta se calculează cu formule geometrice.

Calculul volumului blocului se face folosind următoarele formule:

a) În cazul cînd suprafețele secțiunilor de substanță utilă care mărginesc blocul sînt aproximativ egale.

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2},$$

unde: V — reprezintă volumul blocului, m³; S_1 și S_2 — suprafețele care delimitează blocul, m²; l_{1-2} — lungimea (distanța) dintre secțiuni, m.

b) În situația cînd suprafețele care mărginesc blocul au o formă geometrică asemănătoare, iar ca mărime diferă una față de cealaltă cu peste 40%, se aplică formulele:

trunchiul de con

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2}}{3} \cdot l_{1-2},$$

trunchiul de piramidă după procedeul grafic

$$V = k \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l_{1-2}$$

în care notațiile au aceeași semnificație ca mai sus, iar k este un coeficient de corecție care se determină cu ajutorul formulei

$$k = \frac{2}{3}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{\frac{S_1}{S_2} + \frac{S_2}{S_1}}}\right)$$

Valoarea k în funcție de raportul $\frac{S_1}{S_2} = \alpha$ este dată în tabelul XIV.13

Tabelul XIV.13.

Valoarea coeficientului de corecție k

$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k	$\alpha < 1$	$\alpha > 1$	Valoarea, k
1,0	1,0	1,000	0,033	30,0	0,785
0,71	1,4	0,995	0,025	40,0	0,770
0,50	2,0	0,980	0,020	50,0	0,760
0,33	3,0	0,955	0,017	60,0	0,751
0,25	4,0	0,933	0,014	70,0	0,745
0,20	5,0	0,915	0,010	100,0	0,733
0,143	7,0	0,888	0,007	140,0	0,724
0,100	10,0	0,859	0,005	200,9	0,714
0,083	12,0	0,845	0,003	300,0	0,706
0,071	14,0	0,833	0,0025	400,0	0,700
0,062	16,0	0,824	0,0020	500,0	0,696
0,050	20,0	0,809	0,0014	700,0	0,692
0,040	25,0	0,795	0,0010	1000,0	0,689

c) În cazul cînd secțiunile nu sînt paralele, calculul volumului se face astfel

dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mic de 10° :

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

unde : V reprezintă volumul blocului dintre secțiuni, m³; S_1, S_2 — suprafețele secțiunilor, m²; H_1, H_2 – lungimile perpendicularelor coborîte din proiecțiile centrelor de greutate ale suprafețelor, pe linia de explorare opusă, m;

dacă unghiul dintre secțiunile alăturate este mai mare de 10° se utilizează formula :

$$V = \frac{\infty}{\sin \alpha} \cdot \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{H_1 + H_2}{2}$$

în care α este unghiul dintre secțiunile alăturate, măsurat în radiani.

La blocurile marginale care au numai o singură secțiune, volumul se determină în funcție de gradul de efilare a mineralizației (substanței utile), cu una din următoarele formule :

formula trapezului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{2}$$

formula conului

$$V = \frac{S_1 \cdot l_1}{3}$$

în care : V reprezintă volumul blocului, m³ ; S_1 — suprafața secțiunii marginale ; l_1 — distanța dintre suprafața secțiunii și planul de efilare a corpului de substanță minerală utilă.

Calculul conținutului mediu pe secțiuni se poate face prin trei procedee în funcție de caracterul repartiției componenților utili :

procedeul mediei aritmetice, folosit în cazul cînd nu există dependență între conținut și grosimea corpului de substanță utilă ;

procedeul mediei ponderate cu grosimea, utilizat atunci cînd există dependență între grosime și conținut și cînd lucrările de explorare sînt uniform repartizate ;

procedeul mediei ponderate cu grosimea și cu lungimea de influență a lucrărilor de explorare, folosit în cazul cînd există dependență între grosime și conținut și cînd lucrările de explorare sînt repartizate neuniform.

Rezervele totale pe zăcămînt se calculează prin însumarea rezervelor pe fiecare bloc în parte. Calculul conținutului mediu se face prin medie ponderată, ținînd seama de cantitatea de rezerve care revine fiecărui bloc.

Determinarea conținuturilor medii în componenți utili pe fiecare lucrare de explorare, după procedeul mediei aritmetice sau după procedeul mediei ponderate se face conform tabelelor XIV.14 și XIV.15, iar pe secțiuni conform tabelelor XIV.16 și XIV.17.

Conținutul mediu pe bloc se calculează prin ponderare cu ariile secțiunilor

Tabelul XIV.14

Conținuturile și grosimile medii pe lucrări de explorare calculate prin media aritmetică

Numărul probei	Grosimea g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]
	Puțul de explorare nr. 12	
854	0,5	44,8
855	0,5	45,2
856	0,6	42,3
Pe lucrare minieră	1,6	44,1
	Forajul nr. 81	
1251	0,3	46,8
1252	0,5	41,2
1253	0,5	40,6
1254	0,5	43,1
Pe foraj	1,8	42,9

Tabelul XIV.15

Determinarea conținuturilor și grosimilor pe lucrări de explorare pe baza procedeului mediei ponderate

Numărul probei	Grosimea, g [m]	Conținutul în componenți utili, c [%]	Produsul dintre conținut și grosime [%·m]	Conținutul mediu în componenți utili [%] $\frac{\Sigma g \cdot c}{\Sigma g}$
		Puțul de explorare nr. 25		
341	0,20	12,4	2,48	
342	0,50	8,5	4,25	
343	0,50	5,9	2,95	
344	0,40	9,1	3,64	
Pe lucrare minieră	1,60	—	13,32	8,3
		Forajul nr. 41		
531	0,50	4,9	2,45	
532	0,30	18,2	5,46	
533	1,10	7,9	8,69	
Pe foraj	1,90	—	16,60	8,7

Tabelul XIV.16

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedeului mediei aritmetice

Nr. crt.	Lucrări	Grosime, g [m]	Conținut în componenți utili, c [g/t sau %]
		Secțiunea V-V	
1	Puțul nr. 4	0,90	15
25	Puțul nr. 5	0,20	54
...	...	...	...
20	Forajul nr. 49	0,75	36
Total	—	12,40	948

Numărul lucrărilor miniere (n) = 20; Grosimea medie pe secțiune (g) = 12,40/20 = 0,62 m; Conținutul mediu pe secțiune (c) = 948/20 = 47,4 g/t.

Tabelul XIV.17

Determinarea conținuturilor și grosimilor medii pe secțiuni, pe baza procedeului mediei ponderate

Nr. crt.	Lucrări	Grosimea, g [m]	Conținutul mediu în comp. utili pe lucrare, c [g/t]	Lungimea de influență a lucrării, l [m]	Produsul $g \cdot l$	Produsul $g \cdot l \cdot c$	Conținutul mediu pe secțiune $\frac{\Sigma glc}{\Sigma gl}$ [g/t]	Grosimea medie pe secțiune $\frac{\Sigma gl}{\Sigma l}$ [m]
				Secțiunea V-V				
1	Puțul nr. 4	0,90	15	20	18	270		
2	Puțul nr. 5	0,20	54	24	4,8	259,2		
...	...	...	...	...	...	...		
16	Forajul nr. 49	0,75	36	15	11,25	405,0		
Total pe secțiune		—	—	256	221,8	9924,4	44,7	0,87

4.4. METODA POLIGOANELOR

Metoda poligoanelor este numită și *metoda celor mai apropiate suprafețe* (A. K. Boldirev). Ea se bazează pe principiul extinderii caracteristicilor zăcămîntului (grosimea corpului de substanță utilă, conținutul în metale etc.) cunoscute într-o lucrare de explorare (foraj vertical sau puț) asupra zonei de influență vecină.

Construcția suprafețelor apropiate se face în modul următor: fiecare lucrare de explorare se unește, pe planul pentru calculul rezervelor, prin linii drepte punctate, cu toate lucrările apropiate. Pe mijlocul segmentelor obținute se ridică perpendiculare (pentru ușurință se folosește un șablon special), care se întretaie și care formează în jurul fiecărei lucrări un poligon, ale cărui puncte se găsesc toate mai aproape de lucrarea amplasată în centrul lui decît de orice altă lucrare (fig. XIV. 8).

Trasarea poligoanelor se face, în general, în direcția mersului acelor ceasornicului, de la periferie spre centrul planului.

Împărțind în poligoane întreaga suprafață pentru care se calculează rezervele de substanță minerală utilă, zăcămîntul se înlocuiește cu prisme poliedrice drepte, care au la bază poligoane. Fiecare din aceste prisme are înălțimea egală cu grosimea zăcămîntului, măsurată în lucrarea din centrul poligonului. Fețele acestor prisme sînt plane verticale care trec prin laturile poligoanelor.

Astfel, calculul rezervelor prin această metodă înlocuiește forma reală a zăcămîntului cu o figură geometrică, formată în plan din poligoane, iar în spațiu din poliedre (fig. XIV. 9).

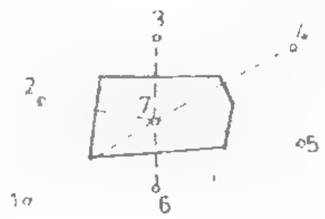


Fig. XIV.8. Trasarea suprafețelor blocurilor prin metoda punctelor celor mai apropiate.

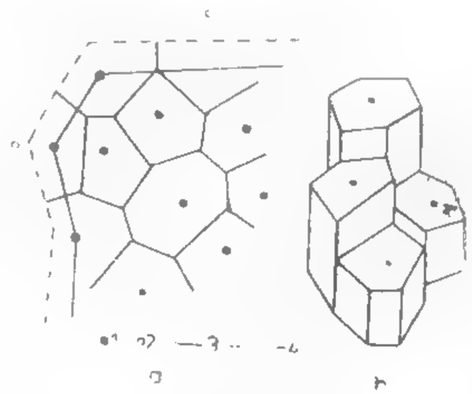


Fig. XIV.9. Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor.

a — fragment din planul de calcul; *b* — un fragment din corpul de substanță minerală utilă transformat în prisme poligonale (perspectivă); *1* — sonde care au traversat corpul de substanță utilă; *2* — sonde care nu au interceptat substanța utilă; *3* — conturul interior; *4* — conturul exterior.

Rezervele se calculează pentru fiecare prismă în parte, după care se însumează rezervele tuturor prismelor, rezultînd rezerva totală a zăcămîntului.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează

$$Q_1 = V_1 \cdot \gamma_1; \quad V_1 = S_1 \cdot g_1; \quad M_1 = \frac{Q \cdot c_1}{100};$$

unde: Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t; V_1 — volumul prismei, m³; γ_1 — masa volumetrică, t/m³; S_1 — suprafața poligonului în centrul căruia se află lucrarea, m²; g_1 — grosimea zăcămîntului măsurată în lucrarea respectivă, m; M_1 metalul conținut în limitele prismei, t; c_1 — conținutul zăcămîntului determinat în lucrarea respectivă, %.

Pentru însumarea rezervelor pe întregul zăcămînt se poate folosi tabelul XIV. 18.

Tabelul XIV.18

Parametrii de calcul al rezervelor prin metoda poligoanelor

Numărul poligonului	Suprafața, S [m²]	Grosimea, g [m]	Volumul, V [m³]	Masa volumetrică, γ [t/m³]	Rezervele de minerai [t]	Conținut mediu, c [%]	Rezerve de metal [t]
1	350	10	3 500	3,5	12 250	1,2	148,0
2	700	10	7 000	3,5	25 000	1,8	450,0
...	...	...	...	...	...	...	...
15	200	5	1 000	3,0	3 000	2,0	60,0
Total	6 500	8	52 000	3,0	156 000	2,0	3120,0

Metoda poligoanelor se utilizează la calculul rezervelor zăcămintelor orizontale sau slab înclinate, explorate prin foraje sau prin puțuri, cu grosimi și conținuturi puțin variabile.

Calculul rezervelor prin metoda poligoanelor este avantajos prin simplitatea operațiilor de calcul și rapiditatea obținerii rezultatelor.

Metoda prezintă și o serie de neajunsuri dintre care se menționează:

- construirea prismelor poligonale denaturează forma reală a corpului de substanță minerală utilă;
- prismele poligonale nu pot reprezenta sectoare de exploatare; calculul rezervelor nu poate fi folosit la planificarea și proiectarea producției.

4.5. METODA TRIUNGHIURILOR

În această metodă toate lucrările se proiectează pe planul de calcul al rezervelor și fiecare lucrare se unește, prin linii drepte, cu lucrările vecine, în așa fel încît se obține o rețea de triunghiuri pe întreaga suprafață a zăcămîntului (fig. XIV. 10).

Înălțimea muchiilor acestor prisme corespunde cu grosimea zăcămîntului, măsurată în lucrările respective.

Calculul rezervelor pentru fiecare prismă se face după cum urmează:

$$Q_1 = V_1 \cdot \bar{\gamma}_1; \quad V_1 = S_1 \cdot \bar{g}_1; \quad S_1 = \frac{a_1 \cdot l_1}{2};$$

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{1}{3}(\gamma' + \gamma'' + \gamma'''); \quad \bar{g}_1 = \frac{1}{3}(g_1' + g_1'' + g_1''');$$

unde: Q_1 reprezintă cantitatea de rezervă a unei prisme, t; V — volumul prismei, m³; S_1 — suprafața bazei prismei, m²; $\bar{\gamma}_1$ — masa volumetrică medie a celor trei lucrări, t/m³; $\bar{g}_1$ — grosimea medie a celor trei lucrări, m; a_1 — latura de bază a triunghiului, m; l_1 — înălțimea triunghiului de bază, m;

$$M_1 = \frac{Q_1 \cdot \bar{c}_1}{100}; \quad \bar{c}_1 = \frac{1}{3}(c_1' + c_1'' + c_1''');$$

unde: M_1 este metalul conținut în limitele prismei, t;
$\bar{c}_1$ — conținutul mediu al celor trei lucrări, g/t sau %.

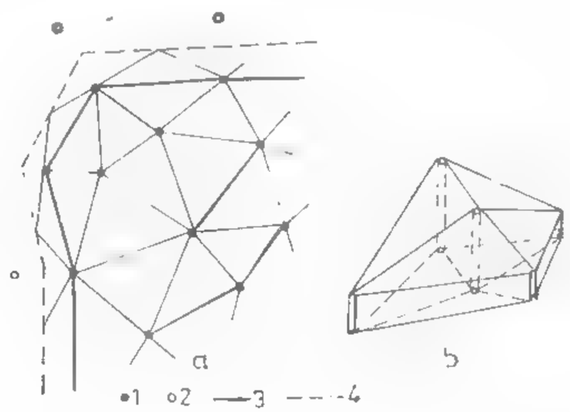


Fig. XIV.10. Calculul rezervelor după metoda triunghiurilor.

a — fragment din planul de calcul; *b* — un fragment din corpul de substanță minerală utilă văzut în perspectivă; *1* — sonde care au străbătut substanța minerală utilă; *2* — sonde care nu au interceptat corpul de substanță minerală utilă; *3* — conturul interior; *4* — conturul exterior.

5. METODE STATISTICE-MATEMATICE ŞI GEOSTATISTICE ÎN ESTIMAREA PARAMETRILOR DE CALCUL AL REZERVELOR

Calitatea unei metode de estimare a rezervelor este determinată în primul rînd de capacitatea ei de a ţine seama de cît mai multe caracteristici geologice ale zăcămintelor. Metodele clasice au la bază ideia că în fiecare zăcămînt caracteristicile calitative şi grosimea variază liniar. Evident, această ipoteză este valabilă extrem de rar, dar admiterea ei a condus la nişte metode de calcul foarte simple, potrivite modului de lucru dinaintea utilizării calculatoarelor electronice. Pe lîngă ipoteza simplistă a variaţiei liniare, metodele clasice de estimare a rezervelor au devenit depăşite şi prin incapacitatea lor de a stabili gradul de precizie a rezervelor estimate.

Un prim pas în depăşirea neajunsurilor metodelor clasice s-a făcut în perioada 1940—1950, prin utilizarea statisticii matematice, iar saltul mai important s-a produs în ultimele 3 decenii, prin utilizarea metodei geostatistice.

5.1. METODE STATISTICE-MATEMATICE

Metodele statistice-matematice consideră grosimea corpurilor de substanţe minerale utile şi caracteristicile calitative ale acestora ca variabile aleatoare. Principalele proprietăţi naturale ale zăcămintelor pe care le pune în evidenţă statistica matematică sînt : legea de distribuţie statistică a caracteristicilor măsurate în diferite puncte, dispersia (gradul de variabilitate) acestora şi dependenţa statistică (legătura corelativă) dintre diferitele caracteristici. Se vor prezenta unele din aplicaţiile metodelor statistice-matematice care ţin seama de caracteristicile menţionate.

5.1.1 STABILIREA VALORII MEDII A PARAMETRILOR DE CALCUL ŢINÎND SEAMA DE LEGEA DE DISTRIBUIŢIE STATISTICĂ A ACESTORA

Fie X o caracteristică oarecare a unui zăcămînt (ex. grosime, caracteristică calitativă) ale cărei valori x_i se cunosc pe baza măsurătorilor sau a determinărilor pe probe. Dacă dintr-un zăcămînt s-ar recolta probe pînă la epuizarea rezervelor acestuia, valoarea medie x_0 calculată ar coincide cu cea reală. Mulţimea acestor probe constituie o colectivitate statistică. Din lucrările geologice se extrage un număr limitat de probe constituind o selecţie, al cărei volum este neglijabil în raport cu colectivitatea statistică. Ca urmare, media valorilor determinate experimental, numită *medie de selecţie*, nu coincide cu media colectivităţii statistice, deci nici cu media reală. În scopul reducerii diferenţei dintre media de selecţie (singura care poate fi calculată efectiv) şi cea reală este indicat ca din distribuţia empirică (distribuţia datelor experimentale) să se deducă legea de distribuţie statistică a colectivităţii, apoi să se calculeze media corespunzătoare acestei legi.

Fie distribuţia empirică a variabilei X cea prezentată în tabelul următor :

Media clasei	x_1	$x_2 \dots x_n$
Frecvenţa relativă pe clase	f_1	$f_2 \dots f_n$

Media de selecţie $\overline{x}$ este dată de relaţia :

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^{n} f_i x_i$$

Pentru distribuţia normală care este simetrică, media de selecţie estimează absolut corect media colectivităţii generale. Numeroasele cercetări efectuate au arătat că, în majoritatea covîrşitoare a cazurilor, distribuţia caracteristicilor calitative ale zăcămintelor prezintă o asimetrie pozitivă (dreaptă), adică probele cu conţinut mai mic decît media sînt mai frecvente, ca în fig. XIV. 11.

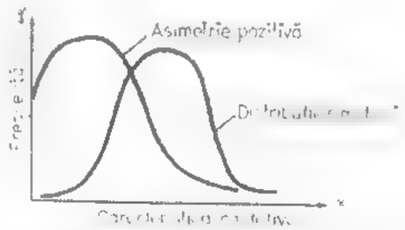


Fig. XVI. 11. Distribuţia simetrică şi asimetrică pozitivă.

Într-o distribuţie asimetrică pozitivă, media de selecţie supraestimează media colectivităţii generale ($x > x_0$). Pentru diminuarea acestei surse de erori sistematice în plus din datele experimentale se deduce legea de distribuţie statistică a caracteristicii X, exprimată prin funcţia de frecvenţă $f(x)$, cu ajutorul căreia se calculează media acestei colectivităţi, după formula

$$x_0 = \int_{x_{minim}}^{x_{maxim}} x f(x)\, dx$$

În principiu, pentru stabilirea funcţiei de frecvenţă se face o schimbare de variabilă $y = g(x)$, astfel ca variabila y să se supună unei legi de disrtributie cunoscute. Dacă $F(y)$ este funcţia de frecvenţă a variabilei y, atunci media x_0 este dată de relaţia :

$$x_0 = \int_{x_{minim}}^{x_{maxim}} x F[g(x)] \frac{dg(x)}{dx}\, dx$$

Schimbarea de variabilă $y = (\log 100\, x)^{\alpha}$ conduce la o distribuție normală a variabilei y prin alegerea convenabilă a exponentului α, ceea ce justifică denumirea de *distribuție log-normală generalizată* a variabilei x. La noi în țară există programe care asigură automatizarea completă a calculelor (schimbarea de variabilă, alegerea exponentului α, testarea normalității distribuției variabilei y și calculul medici x_0). Experimentările făcute au arătat că în minereurile de metale neferoase media aritmetică supraestimează conținutul cu 5—10%.

5.1.2. UTILIZAREA ANALIZEI DE CORELAȚIE ÎN ESTIMAREA CONȚINUTULUI REZERVELOR

Adesea, între diferitele caracteristici ale zăcămintelor există o dependență statistică, numită *legătură de corelație*. Intensitatea legăturii de corelație se măsoară cu ajutorul coeficientului de corelație menționat la prelucrarea rezultatelor analizelor de control extern. Coeficientul de corelație r_{xy} dintre caracteristicile x și y variază între -1 și $+1$. Dacă $r_{xy} < 0$ corelația este inversă (cînd x crește y scade), iar dacă $r_{xy} > 0$ corelația este directă (y crește odată cu x). Se admite că legătura de corelație este suficient de puternică între x și y pentru a permite să se exprime y în funcție de x dacă $|r_{xy}| \geqslant 0{,}5$. În cele ce urmează se dau cîteva exemple de legături de corelație.

Între rezultatele analizelor de bază și de control extern (și intern) există o corelație directă puternică.

- La cărbuni, există o corelație inversă între conținutul în cenușă și puterea calorifică și directă între conținutul în cenușă și greutatea volumetrică.

- În minereurile de metale neferoase, unele elemente disperse apar ca substituenți izomorfi în rețeaua cristalină a mineralelor elementelor de bază, ca de exemplu cadmiul în blendă, indiul în galenă și blendă, seleniul în pirită și calcopirită. În asemenea cazuri, conținutul în elemente disperse este în corelație directă cu metalul de bază respectiv (ex. cadmiul cu zincul).

— O legătură de corelație aparte o constituie corelația spațială. De exemplu, în zăcămintele de minereuri neferoase din eruptivul neogen Baia Mare apare o zonalitate pe verticală : minereu bogat în aur → minereu polimetalic → minereu de cupru. În asemenea cazuri, de exemplu, între conținutul de aur la un nivel și cota absolută există o corelare directă (conținutul în aur scade cu adîncimea).

Existența unei legături de corelație permite stabilirea expresiei matematice a dependenței statistice $y = f(x_1, \ldots, x_m)$, numită *ecuație de regresie*. Cu ajutorul ecuației de regresie se poate stabili valoarea medie y. De exemplu, pentru calculul conținutului mediu în cadmiu se poate proceda astfel :

— pe baza analizării tuturor probelor pentru elementele utile principale se calculează conținuturile medii în Zn și Pb % pe fiecare panou ;

— analizînd 30—50 probe reprezentative pe întregul zăcămînt atît pentru Zn, Pb cît și pentru cadmiu, se stabilește ecuația de regresie Cd = f (Zn, Pb) ;

— înlocuind în ecuația de regresie conținuturile medii în Zn și Pb se obține conținutul mediu în Cd pe fiecare panou, chiar și pentru cele din care nu s-a analizat nici o probă pentru acest element.

Pentru ecuația de regresie se ia o funcție de forma :

$$y = a_0 + a_1 f_1(x_1, x_2, \ldots, x_m) + \ldots + a_p f_p(x_1, x_2, \ldots, x_m)$$

unde $f_i(x_1, x_2, \ldots, x_m)$ sînt funcții liniar independente și ele se aleg pe baza cunoașterii legității de variație a lui y în funcție de $x_1, x_2, \ldots, x_m$. De exemplu, dacă se urmărește

[illegible] a ecuației de regresie care exprimă puterea calorifică inferioară (Q) în funcție de conținutul în cenușă la anindru (A) al unui zăcămînt de cărbune, se va lua o ecuație de regresie de forma $Q = a_0 + a_1 f(A)$, unde pentru $f(A)$ se va lua o funcție care să exprime faptul că Q descrește cînd A crește ; ex. $Q = a_0 + a_1 e^{-A}$ (rezultînd $a_1 > 0$) sau $Q = a_0 - a_1 \ln A$, ori $Q = a_0 + a_1 A$ (rezultînd $a_1 < 0$).

Coeficienții $a_0, a_1, \ldots, a_p$ din ecuația de regresie se determină prin metoda celor mai mici pătrate, care conduce la sistemul :

$$\begin{Vmatrix} n & f_{1i} & f_{2i} & \ldots\ldots & f_{pi} \\ f_{1i} & f_{1i}^2 & f_{1i}f_{2i} & \ldots\ldots & f_{1i}f_{pi} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f_{pi} & f_{pi}f_{1i} & f_{pi}f_{2i} & \ldots\ldots & f_{pi}^2 \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_p \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} y_i \\ y_i f_{1i} \\ \cdot \\ \cdot \\ y_i f_{pi} \end{Vmatrix}$$

unde cu $f_{ji}(j=1,2,\ldots p)$ s-a notat simbolic expresia $\sum_{i=1}^{n} f_j(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{mi})$, iar x_{ki} și y_i reprezintă valorile caracteristicilor x_{ki} și y_i pe proba i. Numărul total de probe este n.

Utilizarea analizei de corelație conduce la realizarea unor economii importante în cercetarea geologică, prin reducerea substanțială a numărului de determinări pentru caracteristicile care depind statistic de altele.

5.2. METODA GEOSTATISTICĂ

Geostatistica constituie aplicarea la fenomenele geologice a teoriei variabilelor regionalizate, elaborată de George Metheron. Orice caracteristică a zăcămintelor de substanțe minerale utile care se exprimă numeric este o variabilă regionalizată (ex. : grosimea unui strat, filon sau unei lentile, caracteristicile calitative etc.)

Variabilelor regionalizate li se asociază două noțiuni de *localizare* : *cîmpul sau domeniul geometric* și *suportul geometric*. Prin cîmp sau domeniu geometric se înțelege partea dintr-un zăcămînt în care se studiază o variabilă regionalizată. De exemplu, dacă un zăcămînt este format din 30 de filoane și se studiază conținutul în plumb pe un singur filon, domeniul geometric al variabilei regionalizate (conținut în plumb) este filonul respectiv. Suportul geometric al unei variabile regionalizate este elementul spațial pe care sînt definite valorile sale. De exemplu, în cazul unui zăcămînt cuprifer de tip porfiric cercetat cu lucrări miniere din care s-au recoltat probe brazdă de cîte 1 m lungime, suportul geometric al conținutului în cupru pe probe este brazda de o formă, mărime și orientare dată. Schimbînd domeniul geometric și/sau suportul geometric se obține o nouă variabilă regionalizată care prezintă anumite analogii cu prima, dar nu coincide cu ea. De exemplu, dispersia unei variabile regionalizate crește atunci cînd domeniul geometric se mărește sau suportul geometric se micșorează. Unele variabile regionalizate sînt de *suport punctual* (a de exemplu grosimea unui strat sau a unui filon, cota culcușului unui strat de cărbune etc.). Ținînd seama că volumul unei probe geologice este neglijabil în raport cu volumul rezervelor unui zăcămînt, adesea se admite practic că și conținutul probelor este de suport punctual.

5.2.1. FUNCȚIILE SEMIVARIOGRAMĂ ȘI COVARIOGRAMĂ

Ideia centrală a geostatisticii este corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, adică faptul că, în medie, între valorile unei variabile regionalizate, măsurate în două puncte, există o similitudine cu atît mai mare sau o deosebire cu atît mai mică, cu cît cele două puncte sînt mai apropiate. Pentru exprimarea numerică a intensității acestei similitudini, respectiv deosebiri, G. Matheron a definit funcția covariogramă, respectiv semivariogramă. Fie M un punct din domeniul geometric al unei variabile regionalizate și $f(M)$ valoarea ei în acest punct. Notăm simbolic cu $M + h$ extremitatea vectorului h cu originea în M și cu m valoarea medie a variabilei regionalizate în domeniul său geometric, de volum V.

Covariograma este definită de relația

$$G(h) = \frac{1}{V}\int_{(V)} [f(M+h) - m]\cdot[f(M) - m]\,dV$$

iar semivariograma prin relația

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V}\int_{(V)} [f(M+h) - f(M)]^2\,dV$$

Se observă ușor că $G(0)$ coincide cu dispersia variabilei regionalizate și că între covariogramă și semivariogramă există relația:

$$G(h) = G(0) - \gamma(h)$$

Dublul semivariogramei, $2\gamma(h)$, se numește *variogramă* și că reprezintă varianța erorii care se comite cînd valoarea $f(M)$ a variabilei regionalizate se atribuie și punctului $M + h$, situat la distanța h de M.

O variabilă regionalizată este *staționară* dacă semivariograma depinde numai de mărimea și direcția vectorului h și *nestaționară* dacă semivariograma depinde și de poziția vectorului în spațiu, adică și de originea sa. În cazul nestaționar apar și schimbări sistematice ale variabilei regionalizate în spațiu, numite *tendință*; de exemplu creșterea conținutului cu adîncimea, scăderea conținutului de la centru spre periferia unui zăcămînt.

5.2.2. VARIABILE REGIONALIZATE STAȚIONARE. PRINCIPALE CARACTERISTICI ALE MINERALIZAȚIEI PUSE ÎN EVIDENȚĂ DE SEMIVARIOGRAMĂ

Semivariograma pune în evidență principalele caracteristici ale zăcămintelor, care influențează rețeua lucrărilor geologice și gradul de precizie al rezervelor estimate. Printre aceste caracteristici menționăm: continuitatea, gradul de variabilitate, raza de influență și anizotropia.

Continuitatea a mineralizației este dată de comportarea semivariogramei în jurul originii (h foarte mic). Sub aspectul continuității se disting trei tipuri de variabile regionalizate: *continuu*, *liniar* și *discontinuu* (efect de pepită), reprezentate în fig. XIV.12.

Primul caz este caracterizat printr-o curbă tangentă în origine la axa oh și reprezintă un înalt grad de continuitate. Acesta ar fi cazul grosimii unor strate de cărbuni.

Tipul liniar, cu tangenta în origine oblică, denotă o mineralizație cu o continuitate mai mică. Acest caz se poate întîlni la conținutul în metale feroase și neferoase.

Tipul al treilea reprezintă o discontinuitate accentuată, cu apariția efectului de pepită și este frecvent la zăcămintele aurifere cu iviri de aur vizibil. De menționat că efectul de pepită nu exprimă doar variațiile locale mari, ci și erorile comise la recoltarea, prepararea și analizarea probelor geologice. Așa se explică faptul că efectul de pepită apare și în zăcămintele de minereu polimetalic.

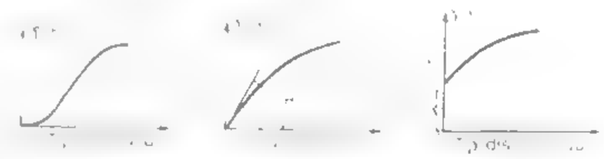


Fig. XIV.12. Tipuri de semivariograme sub aspectul continuității.

Gradul de variabilitate a mineralizației este dat de înălțimea curbei față de axa orizontală, adică de dispersia caracteristicii studiate (σ^2).

Exprimînd cantitativ corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, semivariograma dă un sens concret noțiunii de *rază de influență* a unei probe sau a unei lucrări, permițînd determinarea ei efectivă în metri. Recoltînd probe sau executînd lucrări cu distanța h între ele, este foarte natural să ne așteptăm ca în urma repetării procesului de doua probe sau lucrări să indice, în medie, valori cu atît mai apropiate ale unei caracteristici, cu cît h este mai mic. Pe măsură ce această distanță crește, corelația devine tot mai slabă, iar peste o anumită limită valorile din cele două puncte devin statistic independente. Distanța maximă a pînă la care valorile unei caracteristici sînt corelate și peste care ele devin statistic independente se numește *rază de influență*. Raza de influență este prin urmare proprietate a unui zăcămînt care influențează distanța necesară între lucrările geologice, ca crescînd proporțional cu raza de influență.

Semivariograma scoate în evidență și *anizotropia* mineralizației. În unele zăcăminte variația mineralizației este aceeași în toate direcțiile. În aceste cazuri spunem că variabila regionalizată studiată și semivariograma ei sînt *izotrope*. Adesea apar variații deosebite ale mineralizației în diferite direcții. În asemenea situații, mineralizația este *anizotropă*. Anizotropia zăcămintelor impune distanțe deosebite dintre lucrările de cercetare geologică în diferite direcții.

Caracteristicile principale ale mineralizației unui zăcămînt, puse în evidență de semivariogramă, au o influență determinantă asupra desimii necesare a lucrărilor de cercetare geologică și a gradului de precizie al rezervelor estimate. Pentru a ilustra influența fiecărei, se vor compara succesiv cîte două zăcăminte în care o caracteristică se schimbă iar celelalte trei rămîn neschimbate. În prezentarea acestor influențe se are în vedere faptul că semivariograma măsoară discordanța dintre valorile unei caracteristici în două puncte situate la distanța h unul de altul, că aceasta este varianța unei erori de estimare. În fig.

fig. XIV.13 se reprezintă semnificația unora din caracteristicile puse în evidență de semivariogramă și de covariogramă, referirile făcîndu-se la un model cu plafon.

Fie două zăcăminte cu același grad de variabilitate a mineralizației (plafonul comun), raze de influență egale și izotrope, dar cu continuitatea diferită (fig. XIV.14).

Fig. XIV.13. Caracteristicile puse în evidență de semivariogramă și de covariogramă la un model cu plafon.

Din fig. XIV.14, *a* rezultă că la aceeași distanță h dintre lucrări, în zăcămîntul *1* rezervele se obțin cu o eroare de estimare mult mai mică decît în zăcămîntul *2*. Invers pentru comiterea aceleiași erori de estimare a rezervelor, în cadrul zăcămîntului *2* lucrările trebuie executate la distanțe (d_2), mult mai mici decît în zăcămîntul *1* (d_1), (fig. XIV.14, *b*).

Considerînd gradul de variabilitate diferit, se poate constata influența lui asupra desimii lucrărilor geologice și a varianței erorii de estimare a rezervelor, ca în fig. XIV.14, *c*.

Rolul hotărîtor al razei de influență este ilustrat în fig. XIV. 14, *d* și XIV.14, *e*.

Anizotropia mineralizației impune distanțe deosebite între lucrările geologice în diferitele direcții ale zăcămîntului. În cazul unui zăcămînt tabular, dacă razele de influență în direcțiile principale de variație a mineralizației sînt a_x și a_y, atunci distanțele necesare între lucrările geologice pe cele două direcții (d_x și d_y) trebuie să fie în proporția

$$\frac{d_x}{d_y} = \frac{a_x}{a_y}.$$

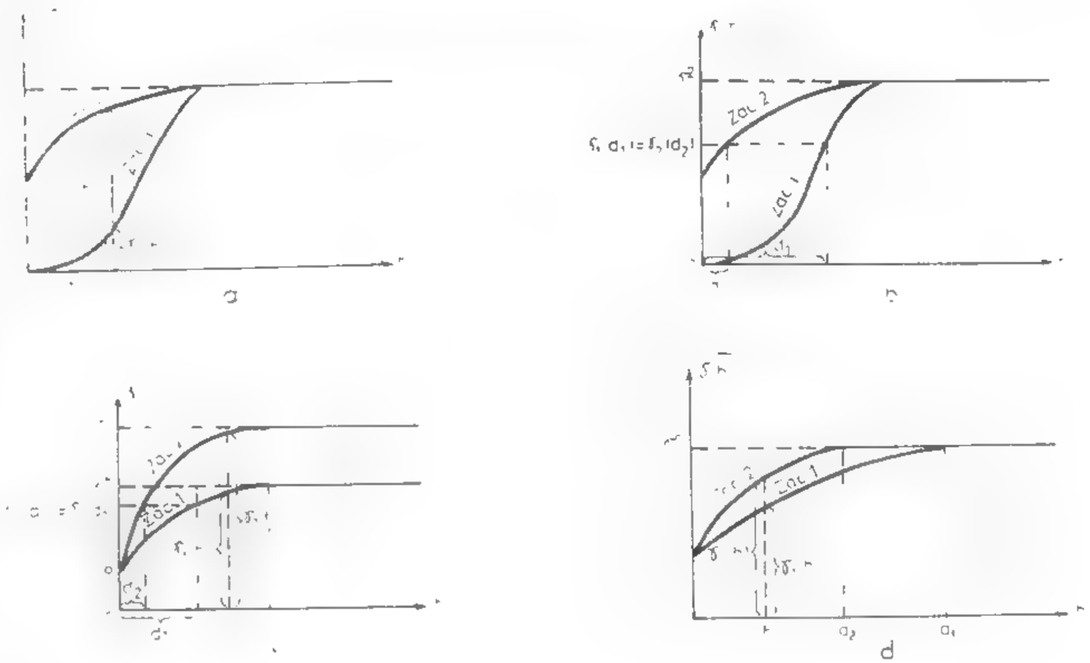
5.2.3. CALCULUL SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

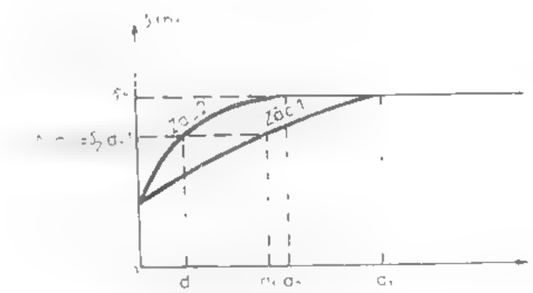
Așa cum a fost definită, semivariograma nu poate fi determinată direct. Din datele obținute în lucrările de cercetare geologică se obține un estimator al semivariogramei numit *semivariogramă experimentală*.

În vederea calculării semivariogramei experimentale se procedează în felul următor:

se stabilesc direcțiile în care urmează a se calcula semivariograma experimentală: în cazul zăcămintelor tabulare se aleg cel puțin două direcții, iar la zăcămintele izometrice cel puțin trei direcții; la alegerea acestor direcții trebuie avut în vedere atît modul de variație a mineralizației cît și amplasamentul lucrărilor geologice;

— pentru fiecare direcție în care urmează să se calculeze semivariograma experimentală se fixează lungimea minimă d și maximă D a vectorului $\bar{h}$; distanța minimă variază în funcție de metodica de cercetare și ea nu poate fi mai mică decît distanța medie





e

Fig. XIV.14. Influența caracteristicilor puse în evidență de semivariogramă asupra gradului de precizie al rezervelor și a densității lucrărilor geologice:

a — influența continuității mineralizației asupra gradului de precizie a rezervelor geologice; *b* — influența continuității mineralizației asupra densității lucrărilor geologice; *c* — influența gradului de variabilitate a mineralizației asupra densității lucrărilor geologice și a preciziei estimării rezervelor; *d* — rolul razei de influență privind eroarea de estimare a rezervelor; *e* — rolul razei de influență privind densitatea lucrărilor geologice.

dintre lucrările pe direcția respectivă ; distanța maximă variază între dimensiunea maximă a unei unități de calcul și 1/2 din extinderea zăcămîntului pe direcția considerată ; semivariograma se calculează pentru distanțele $h_i = id$, unde i variază între 1 și o valoare maximă pentru care $h_i \leqslant D$;

— lucrările geologice nu se execută, de regulă, rigid pe aceeași direcție și la distanțe fixe între ele, de aceea se adoptă, pentru fiecare direcție j, toleranțe de direcție $\Delta\theta_{ji}$ și de distanță Δd_{ji}, separat pe distanțe h_i ;

— semivariograma în direcția θ_j, pentru distanța h_i, se calculează cu ajutorul formulei :

$$\gamma(h_i, \theta_j) = \frac{1}{2n_{ij}} \sum_x [f(x + h_i) - f(x)]^2$$

în care n_{ij} reprezintă numărul perechilor de lucrări sau probe care se înscriu în direcția θ_j și distanța h_i.

Semivariograma experimentală se obține sub formă tabelară, cu valorile pentru fiecare distanță în cadrul direcțiilor luate în considerare.

5.2.4. MODELAREA SEMIVARIOGRAMEI EXPERIMENTALE

Semivariograma experimentală prezintă două neajunsuri în utilizarea ei directă la estimarea rezervelor :

— valorile sale se cunosc doar în 2 – 3 direcții și în fiecare direcție numai pentru anumite distanțe h ; în procesul estimării rezervelor sînt necesare valorile semivariogramei pentru orice direcție și distanță ;

— semivariograma experimentală prezintă o serie de fluctuații datorate componentei aleatoare din variația mineralizației.

Datorită acestor motive este necesar ca din valorile semivariogramei experimentale să se deducă un model, numit *semivariogramă teoretică*, care să elimine variațiile aleatoare și să ia valori cît mai apropiate de cele experimentale. În fig. XIV.15 se reprezintă schematic o semivariogramă experimentală și modelul teoretic corespunzător..

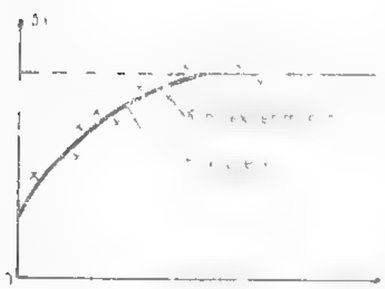


Fig. XIV.15. Modelarea semivariogramei experimentale.

La modelarea semivariogramei experimentale trebuie avute în vedere următoarele :

— alegerea modelului de semivariogramă teoretică

— determinarea parametrilor semivariogramei teoretice, astfel ca să treacă cît mai aproape de punctele semivariogramei experimentale.

În vederea alegerii modelului semivariogramei teoretice se reprezintă grafic punctele semivariogramei experimentale în același sistem de axe, trasîndu-se și plafonul (dreapta orizontală la distanța σ^2 de axa oh). Pentru modelul teoretic se alege una din funcțiile $\gamma(h)$ descrise în literatura de specialitate.

5.2.4.1. Mineralizații izotrope

Adesea, mineralizația se comportă aproximativ la fel în toate direcțiile. Acest lucru este pus în evidență de faptul că valorile semivariogramei pentru aceeași distanță h, calculate în diferite direcții, sînt aproximativ egale. În asemenea cazuri spunem că variabila regionalizată studiată este izotropă. Din valorile semivariogramei experimentale, calculate în 2 – 3 direcții, se calculează una medie, prin ponderare după numărul perechilor de puncte, separat pentru fiecare lungime h, ca în exemplul din tabelul XIV.19.

Tabelul XIV.19

Calculul semivariogramei experimentale medii

Distanța h_i	Direcția 1		Direcția 2		Direcția 3		Media	
	n_{i1}	$\gamma_1(h_i)$	n_{i2}	$\gamma_2(h_i)$	n_{i3}	$\gamma_3(h_i)$	n_i	$\gamma(h_i)$
25	520	0,04	570	0,06	85	0,05	1175	0,0504
50	500	0,12	550	0,10	80	0,11	1130	0,1152
75	470	0,18	520	0,17	77	0,18	1067	0,1751
100	420	0,21	500	0,20	72	0,21	992	0,2050

În acest exemplu, γ (50) a rezultat în felul următor :

$$\gamma(50) = \frac{500 \cdot 0,12 + 550 \cdot 0,10 + 80 \cdot 0,11}{500 + 550 + 80} = 0,1152$$

Se subliniază că o semivariogramă medie numai atunci se poate calcula cînd din tabele și mai ales din grafice rezultă că în toate direcțiile semivariograma experimentală este aproximativ aceeași, adică este izotropă.

Semivariograma teoretică, în cazul izotrop, este de forma :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1\gamma_1(h)$$

unde C_0 și C_1 sînt constante iar $\gamma_1(h)$ este o funcție de h care mai poate depinde și de un parametru, notat de regulă cu a. După tipul funcției $\gamma_1(h)$, din literatura de specialitate și din numeroase aplicații practice realizate pe plan mondial și la noi în țară au rezultat următoarele modele principale de semivariogramă teoretică :

Modele cu plafon. Sînt cele în care semivariograma se stabilizează în jurul plafonului. Dintre acestea cel mai important este *modelul sferic al lui Matheron*, cu expresia :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1\left[1,5\dfrac{h}{a} - 0,5\left(\dfrac{h}{a}\right)^3\right] & \text{pentru } h < a \\ C_0 + C_1 & \text{pentru } h \geqslant a \end{cases}$$

Acesta este modelul care apare în marea majoritate a zăcămintelor. Semnificatia parametrilor C_0, C_1 și a rezultă din fig. XIV.16, *a*

Un alt model cu plafon este cel *exponențial*, cu expresia :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h}{a}})$$

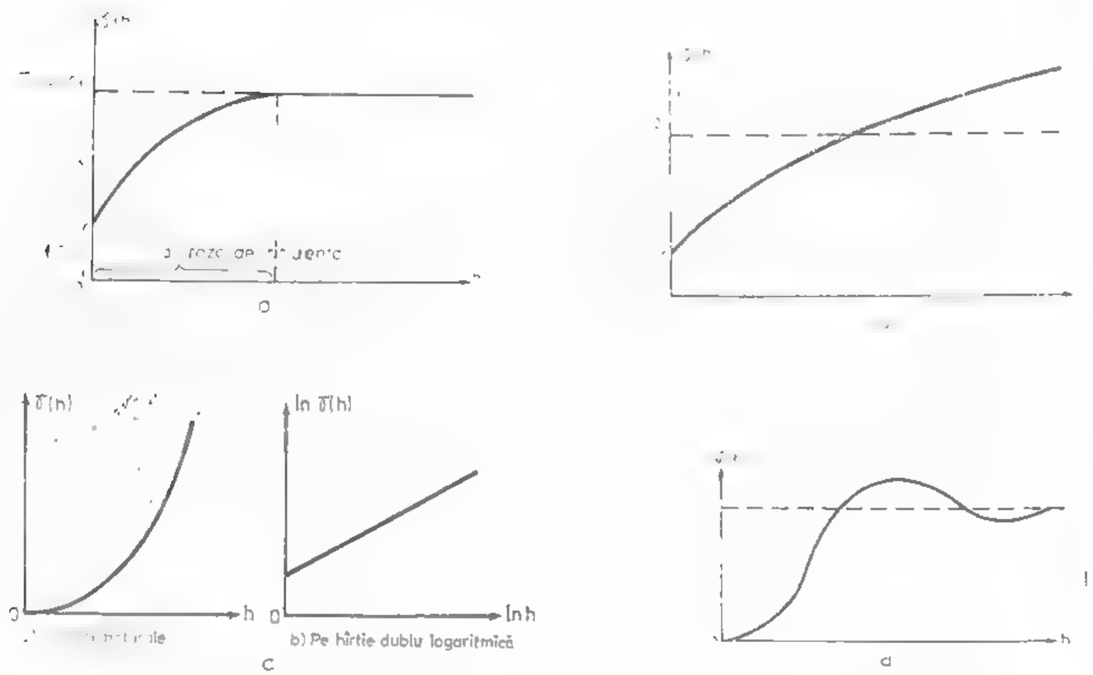


Fig. XIV.16. Modele de semivariogramă teoretică :

a — model sferic ; *b* — model logaritmic ; *c* — model parabolic ; *d* — model sinusoidal.

al cărui grafic diferă de cel al modelului sferic doar prin faptul că curba $\gamma(h)$ atinge asimptotic plafonul σ^2.

Un model extrem este cel *aleator*, cînd , de la început, semivariograma oscilează jurul plafonului, deci are expresia analitică :

$$\gamma(h) = \sigma^2$$

Modelul aleator poate apare doar în cazul unor zăcăminte cu o distribuție pur aleatoare a componenților utili, cum ar fi unele zăcăminte cu aur nativ. În asemenea situatii, și numai în acestea, geostatistica conduce la aceleași rezultate ca și metodele statistice-matematice. Întrucît lipsește complet corelația spațială a caracteristicilor zăcămintelor, nu se pot calcula conținuturi medii pe unități de calcul, ci doar pe total corp de substanță minerală utilă.

Modele fără plafon. Sînt cele în care semivariograma crește mereu, depășind plafonul σ^2. În asemenea cazuri se adoptă unul din următoarele modele :

Modelul De Wijs (logaritmic) are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \ln h \qquad (h \geqslant 1)$$

Acest model poate fi recunoscut după faptul că pe hîrtie semilogaritmică [ln h, $\gamma(h)$] punctele semivariogramei experimentale se distribuie aproximativ pe o linie dreaptă

Grafic, acest model apare ca în fig. XIV.16, *b*.

Modelul liniar în care punctele semivariogramei experimentale sînt aproximativ pe o dreaptă în sistemul de axe [h, $\gamma(h)$] și are expresia analitică :

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 h$$

Cu titlu informativ se mai prezintă două modele, cu aplicații foarte rare

Modelul parabolic, cînd pe hîrtie dublu logaritmică semivariograma teoretică devine o linie dreaptă. Expresia sa analitică este

$$\gamma(h) = ah^b$$

cu graficul din figura XIV.16 *c*.

Modelul sinusoidal, cu expresia analitică :

$$\gamma(h) = C\left(1 - \frac{\sin ah}{ah}\right)$$

avînd graficul din figura XIV.16 *d*.

Cazurile în care semivariograma teoretică poate fi exprimată cu ajutorul unui singur model din cele prezentate constituie *structurile simple*

Uneori nici unul din modelele prezentate nu aproximează suficient de bine semivariograma experimentală, dar dacă se ia suma a două sau a mai multora din modelele descrise, se poate ajunge la o semivariogramă teoretică care trece foarte aproape de punctele semivariogramei experimentale. În asemenea cazuri sîntem în prezența unor *structuri compuse* a căror expresie analitică este de forma

$$\gamma(h) = C_0 + C_1\gamma_1(h) + C_2\gamma_2(h) + \ldots$$

De exemplu, în cazul unei structuri compuse din două modele sferice, expresia analitică a semivariogramei teoretice devine :

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1\left[1{,}5\dfrac{h}{a_1} - 0{,}5\left(\dfrac{h}{a_1}\right)^3\right] + C_2\left[1{,}5\dfrac{h}{a_2} - 0{,}5\left(\dfrac{h}{a_2}\right)^3\right] & \text{pentru } h < a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2\left[1{,}5\dfrac{h}{a^2} - 0{,}5\left(\dfrac{h}{a_2}\right)^3\right] & \text{penru } a_1 \leqslant h < a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & \text{pentru } h \geqslant a_2 \end{cases}$$

5.2.4.2. Mineralizații anizotrope

Dacă în diferitele direcții semivariograma experimentală are valori semnificativ deosebite, spunem că variabila regionalizată *este anizotropă*. În asemenea cazuri se pune problema găsirii unui model teoretic care să permită calcularea valorilor semivariogramei în orice direcție. Se vor prezenta în continuare principalele două tipuri de anizotropie.

Anizotropia geometrică. În cazul izotrop, zona de influență a unei probe este un cerc în cazul bidimensional, respectiv o sferă în cel tridimensional.

Dacă printr-o transformare a axelor x, y, z în axele x', y', z', definită prin relațiile :

$$x' = x;\quad y' = k_y y;\quad z' = k_z z$$

se ajunge la o semivariogramă izotropă, avem o *anizotropie geometrică*. În acest caz zona de influență a unei probe este o elipsă, respectiv un elipsoid de semiaxe a_x, a_y, a_z, care prin schimbarea de axe menționată se transformă într-o sferă de raza a_x.

Coeficienții k_y și k_z se numesc *rapoarte de anizotropie*; expresia lor diferă de la un model la altul.

Fiind dat un vector cu extremitățile în $M_1(x_1, y_1, z_1)$ și $M_2(x_2, y_2, z_2)$, mărimea sa h este dată de expresia :

$$h = \sqrt{h_x^2 + h_y^2 + h_z^2}$$

unde h_x, h_y, h_z sînt proiecțiile vectorului $\bar{h}$ pe direcțiile ox, oy și oz, adică

$$h_x = y_2 - x_1$$

$$h_y = y_2 - y_1$$

$$h_z = z_2 - z_1$$

Prin schimbările de axe $x' = x$; $y' = k_y y$ și $z' = k_z z$, lungimea h se transformă în lungimea h' :

$$h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$$

În vederea stabilirii unei expresii unice pentru semivariograma teoretică, valabilă în orice direcție, în cazul anizotropiei geometrice se pun următoarele probleme :

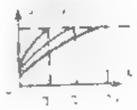
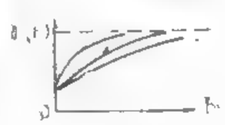
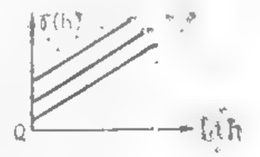
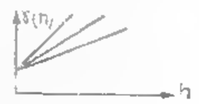
- stabilirea semivariogramei teoretice, separat pentru fiecare direcție : $\gamma_x(h)$, $\gamma_y(h)$ și $\gamma_z(h)$;
- verificarea condițiilor pentru anizotropia geometrică ;
- calcularea rapoartelor de anizotropie k_y și k_z,
- scrierea expresiei analitice a semivariogramei teoretice, valabilă în orice direcție.

Semivariograma teoretică pentru fiecare direcție în parte se obține la fel ca în cazul izotrop. Din tabelul XIV.20 rezultă modul de rezolvare a celorlalte trei probleme.

Anizotropia zonară este urmare așa-numitului *efect de stratificație* și constă în faptul că în secțiuni plane (de regulă orizontale) semivariograma este izotropă, eventual prezintă o anizotropie geometrică, iar pe direcția perpendiculară pe aceste plane (deci, de regulă, după verticală) semivariograma are valori mai mari.

Tabelul XIV.20

Criterii de recunoaștere și modul de tratare a anizotropiei geometrice

Modelul în fiecare direcție	Condițiile anizotropiei geometrice	Rapoartele de anizotropie		Expresia analitică a modelului, valabilă în orice direcție	Graficul modelelor în cele trei direcții
		k_y	k_z		
Sferic (Matheron)	$C_{0x} = C_{0y} = C_{0z}$; $C_{1x} = C_{1y} = C_{1z}$	$\frac{a_x}{a_y}$	$\frac{a_x}{a_z}$	$C_0 + C_1\left[1{,}5\frac{h'}{a_x} - 0{,}5\left(\frac{h'}{a_x}\right)^3\right]$ dacă $h' < a_x$; $C_0 + C_1$ dacă $h' \geqslant a_x$	
Exponențial	Idem	Idem	Idem	$C_0 + C_1(1 - e^{-\frac{h'}{a}})$	
Logaritmic (De Wijs)	$C_{1x} = C_{1y} = C_{1z}$	$e^{\frac{C_{0y} - C_{0x}}{C_1}}$	$e^{\frac{C_{0z} - C_{0x}}{C_1}}$	$C_{0x} + C_1 \ln h$	
Liniar	$C_{0x} = C_{0y} = C_{0z}$	$\frac{C_{1y}}{C_{1x}}$	$\frac{C_{1z}}{C_{1x}}$	$C_0 + C_{1x}h'$	

În toate cazurile, $h' = \sqrt{h_x^2 + (k_y h_y)^2 + (k_z h_z)^2}$

Fie $\gamma_{xy}(h)$ semivariograma experimentală în secțiuni orizontale și $\gamma_z(h)$ valorile ei pe verticală. Se consideră că $\gamma_z(h)$ este semivariograma globală, compusă din componenta izotropă $\gamma_{xy}(h)$ și o componentă zonară $\lambda_{zon}(h_z)$, care nu are reflectată în secțiuni orizontale. În aceste condiții, pentru stabilirea semivariogramei $\gamma(h)$, valabilă în orice direcție, se procedează astfel:

- se determină modelul teoretic al semivariogramei experimentale, calculată după diferite direcții din secțiuni orizontale, pe care îl notăm cu $\gamma_{izo}(h)$. (Se reamintește că $\gamma_{izo}(h_z)$ poate reprezenta și o semivariogramă cu anizotropie geometrică);
- se calculează diferențele valorilor experimentale $\gamma_z(h) - \gamma_{xy}(h)$; aceste diferențe se consideră valorile experimentale ale unei semivariograme și se determină modelul diferențelor, $\gamma_{zon}(h_z)$;
- modelul teoretic căutat, valabil pentru orice direcție, este

$$\gamma(h) = \gamma_{izo}(h) + \gamma_{zon}(h_z).$$

Se subliniază faptul că în timp ce componenta izotropă depinde de lungimea vectorului $\bar{h}$, componenta zonară depinde doar de proiecția h_z a acestui vector pe direcția z.

După alegerea modelului semivariogramei teoretice, trebuie determinate valorile numerice ale parametrilor care intervin în expresia lui. De observat că unii parametri sînt liniari (ex.: C_0 și C_1), iar alții sînt neliniari (ex.: a în modelul sferic și exponențial). Există o serie de metode practice simple pentru determinarea acestor parametri. Cele mai bune rezultate se obțin utilizînd metoda celor mai mici pătrate, folosind calculatoarele electronice.

5.2.5. METODA KRIGE — DETERMINAREA ESTIMATORULUI OPTIM ȘI A VARIANȚEI ERORII DE ESTIMARE

Fie o unitate de calcul al rezervelor D (panou, bloc etc.), cercetată cu lucrările $L_1, L_2, \ldots L_n$, în care s-au determinat valorile $v_1, v_2, \ldots, v_n$ ale unei caracteristici (ex.: grosime, conținutul într-un component util etc.). Se pune problema determinării valorii medii $\bar{v}$ a acestei caracteristici în unitatea de calcul D pe baza datelor experimentale $v_1, v_2, \ldots, v_n$. Orice metodă de estimare a rezervelor determină media $\bar{v}$ ca o combinație liniară a valorilor experimentale v_i, sub forma

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot v_i$$

unde λ_i sînt ponderi nenegative, îndeplinind condiția

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$$

pentru a exclude erorile sistematice în estimare. Fie v_0 media reală (care nu poate fi stabilită niciodată) a caracteristicii v în unitatea de calcul D. Există ∞^{n-1} seturi de n numere λ_i nenegative, cu suma = 1, deci cu aceleași date experimentale v_i se pot obține pe o unitate de calcul ∞^{n-1} medii, în general diferite între ele. Media reală este însă una singură v_0. Diferitele medii prezintă deci diferențe deosebite față de media reală, deci erori de estimare diferite. Din toate seturile posibile de ponderi λ_i geostatistica alege unul singur

acela care face minimă varianța erorii de estimare. Spre deosebire de oricare alt estimator, media obținută prin metoda geostatistică poartă numele de *estimator Krige*, iar varianta erorii de estimare corespunzătoare, *varianța erorii Krige*, aceasta notîndu-se cu $\bar{v}_k$ respectiv σ_k^2. Prin urmare, geostatistica determină valoarea medie prin relația:

$$\bar{v}_k = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot v_i$$

ponderile λ_i determinate în fiecare caz astfel ca să fie îndeplinite condițiile:

$$\begin{cases} \sigma_k^2 = \min\min \\ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \end{cases}$$

Impunînd aceste condiții, ponderile λ_i sînt soluțiile următorului sistem, numit *sistemul lui Krige*:

$$\begin{cases} \gamma_{11}\lambda_1 + \gamma_{12}\lambda_2 + \ldots + \gamma_{1n}\lambda_n + \mu = \gamma_{1D} \\ \gamma_{21}\lambda_1 + \gamma_{22}\lambda_2 + \ldots + \gamma_{2n}\lambda_n + \mu = \gamma_{2D} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \gamma_{n1}\lambda_1 + \gamma_{n2}\lambda_2 + \ldots + \gamma_{nn}\lambda_n + \mu = \gamma_{nD} \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_n = 1 \end{cases}$$

unde: μ este multiplicator Lagrange;

γ_{ij} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului $\bar{h}$ descrie lucrarea L_i, iar extremitatea lui lucrarea L_j; evident, $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$;

γ_{iD} — valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea vectorului $\bar{h}$ descrie lucrarea L_i, iar extremitatea lui unitatea de calcul D.

După rezolvarea sistemului lui Krige, varianța erorii de estimare se calculează cu ajutorul relației

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^{n} \gamma_{iD} \cdot \mu - \gamma_{DD}$$

în care γ_{DD} reprezintă valoarea medie a semivariogramei $\gamma(h)$ cînd originea și extremitatea vectorului $\bar{h}$ descrie independent una de alta, domeniul D.

5.2.6. INTERVALUL DE ÎNCREDERE AL CANTITĂȚII ȘI CALITĂȚII REZERVELOR. GRADUL DE PRECIZIE AL VALORILOR ESTIMATE

Prin lucrările de cercetare geologică executate, caracteristicile zăcămintelor (grosime, conținut, greutate volumetrică etc.) se determină într-un număr limitat de puncte, apoi aceste valori se extind asupra unităților de calcul (panouri, blocuri). Datorită acestui fapt, indiferent de metoda de calcul folosită, rezervele estimate nu coincid niciodată cu

cele reale, adică ele sînt afectate de erori. Notînd cu v_k valoarea estimată a unei caracteristici și cu v_0 valoarea sa reală, eroarea de estimare absolută este :

$$e = v_k - v_0$$

Eroarea de estimare nu poate fi determinată niciodată, ci doar varianta ei σ_k^2. Se admite că eroarea de estimare are o distribuție normală (Gauss-Laplace). În aceste condiții, se poate afirma că există o probabilitate P ca eroarea de estimare să fie cuprinsă în intervalul $(-t\,\sigma_k, t\sigma_k)$, unde $\sigma_k = \sqrt{\sigma_k^2}$ se numește *eroare standard*, iar t este valoarea parametrului din funcția corespunzătoare distribuției normale

$$2P(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}}\, dx$$

Se dau valorile lui t pentru diferite probabilități $P(t)$:

$P(t)$ [%]	t
70	1,036
80	1,282
90	1,645
95	1,960

Definim *gradul de precizie* al estimării unei caracteristici v, valoarea minimă pe care se poate conta cu o probabilitate P, exprimată în procente față de valoarea medie v_z a caracteristicii pe domeniul geometric în care s-a determinat semivariograma (întregul zăcămînt sau un corp de substanță minerală utilă) :

$$p = 100\left(1 - \frac{t\sigma_k}{v_z}\right)$$

Intervalul $\left(\frac{p}{100} v_k, \frac{200 - p}{100} v_k\right)$ se numește *interval de încredere*. Sensul practic al intervalului de încredere este următorul : există o probabilitate P % ca media reală v_0 să fie cuprinsă în intervalul respectiv.

Prin metoda Krige se obține varianța erorii de estimare a grosimii medii (la zăcămintele tabulare) și a conținuturilor medii, pe unități de calcul.

Ținînd seama de faptul că cantitatea de rezerve este produsul dintre suprafață, grosime și masa volumetrică ($R = S \cdot g \cdot \gamma$), varianța erorii de estimare a cantității de rezerve σ_R^2 rezultă din relația :

$$\frac{\sigma_R^2}{R^2} = \frac{\sigma_S^2}{S^2} + \frac{\sigma_g^2}{\bar{g}^2} + \frac{\sigma_\gamma^2}{\bar{\gamma}^2}$$

Cunoscînd varianța erorii de estimare a cantității de rezerve (σ_R^2) și a conținutului mediu (σ_c^2), varianța erorii de estimare a cantității de metal σ_M^2 este :

$$\frac{\sigma_M^2}{M^2} = \frac{\sigma_R^2}{R^2} + \frac{\sigma_c^2}{\bar{c}^2}$$

Fie n unități de calcul pentru care s-au stabilit cantitățile de rezerve $R_1, R_2, \ldots R_n$ și conținuturile medii $c_1, c_2, \ldots c_n$, cu varianțele erorilor de estimare $\sigma_{R_i}^2$ respectiv $\sigma_{c_i}^2$ ($i = 1, 2, \ldots, n$). Cumulînd aceste rezerve se obține

$$R = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i c_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i}$$

Varianța erorii de estimare a cantității și calității rezervelor cumulate este :

$$\sigma_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i^2 \sigma_{R_i}^2}{(R_1 + R_2 + \ldots + R_n)^2}; \qquad \sigma_c^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i^2 \sigma_{c_i}^2}{(R_1 + R_2 + \ldots + R_n)^2}$$

XV. TOPOGRAFIE MINIERĂ ȘI FOTOGRAMMETRIE

Prof. dr. ing. NICOLAE DIMA
Șef lucrări dr. ing. IONIȚĂ PĂDURE
Șef lucrări ing. STANCA NICULESCU

Topografia se ocupă cu reprezentarea pe o suprafață plană a unei porțiuni de teren în scopul realizării și rezolvării în bune condițiuni a multiplelor probleme ce organizării teritoriului, de construcții industriale și civile, hidrotehnice, căi de comunicație, miniere etc.

Reprezentarea trebuie să asigure obținerea unei imagini clare a terenului, spre a fi precis cunoscut ca mărime, conținut și formă în expresia lor geografică.

La baza reprezentărilor stau măsurătorile topografice care se efectuează în teren asupra elementelor ce trebuie să fie reprezentate și care formează așa-numitele *detalii topografice*.

Detaliile topografice pot fi naturale (munți, dealuri, cursuri de apă, povîrnișuri, limite naturale etc.) sau artificiale (construcții la suprafață sau subterane, orice deplasare realizată de om).

Măsurătorile topografice prelucrate după anumite metode conduc la rezultate care transpuse pe planul de reprezentare conturează grafic porțiunea de traseu cu toate detaliile ce le conține.

Ansamblul de operații care cuprind măsurătorile topografice, calculul și raportarea pe plan poartă denumirea de *ridicare topografică*. Rezultatul concret al unei ridicări topografice este *planul topografic* sau *harta topografică*.

Planurile și hărțile topografice sînt documente nelipsite în probleme de studii și organizări de teritoriu, în probleme de studii și analize geografice și geologice, în probleme de proiectare de construcții din cele mai diferite domenii etc.

Proiectele de construcții realizate pe baza planurilor topografice urmează a fi transpuse (aplicate) în teren cu toate detaliile de construcție ale acestora.

Aplicarea în teren a proiectelor este realizabilă tot cu ajutorul unui ansamblu de operații topografice denumite *operații topografice de trasare*.

Așadar topografia rezolvă două mari și importante probleme — *ridicarea terenurilor* și *aplicarea în teren a proiectelor* (*trasarea*).

Cu cît topografia va rezolva mai bine aceste două teme, ridicarea și trasarea, cu atît va atinge mai bine scopul.

Punerea în valoare a zăcămintelor de substanțe minerale utile prin exploatări miniere subterane și exploatări miniere la zi implică cunoștințe de topografie în general și de topografie minieră în special, aceasta din urmă rezolvînd problemele de ridicare și trasare precizate mai sus și, evident, cu multiple particularități.

Gama largă a problemelor specifice topografiei miniere se referă la două genuri de activități principale: *de concepție* (proiectare, sistematizare, prognoze, metode și procedee moderne de preluare și prelucrare a informațiilor etc.) și *de execuție* (redactări de planuri topografice, trasarea și urmărirea în timp a construcțiilor miniere, evidența producției etc.).

Problemele cu care viitorul specialist se confruntă în activitatea practică, de proiectare, de cercetare, de conducere și direcționare a lucrărilor miniere de deschidere, înaintare, pregătire și exploatare a zăcămintelor de substanțe minerale utile, implică cunoș-

tințe bine fundamentate privind metodologiile de prelucrare a datelor, de întocmire și redactare a hărților și planurilor topografice, de orientare a rețelelor geodezice de sprijin, de amplasare a obiectivelor industriale și miniere, de urmărire a stabilității acestora și suprafețelor agricole și forestiere, de dimensionare a pilierilor de siguranță etc.

De asemenea, se impune cunoașterea problemelor noi care privesc rezolvarea, în corelare cu geologia, a modului de distribuție spațială a mineralizației în zăcăminte, utilizarea fotogrammetriei, fotointerpretării și teledetecției în determinarea și controlul unor mărimi și fenomene foarte importante domeniului minier de activitate etc.

Volumul mare de informații impune prelucrarea automată a datelor, deci cunoștințe fundamentale și de specialitate temeinice în acest scop.

1. TEORIA ERORILOR DE MĂSURARE

Dacă o mărime se măsoară de mai multe ori, de fiecare dată se obține o altă valoare, chiar dacă măsurătorile se efectuează în aceleași condiții și cu instrumente de mare precizie.

Cauza acestei nepotriviri de valori se datorește erorilor care afectează întotdeauna o măsurătoare, făcînd ca valoarea adevărată a mărimii măsurate să nu poată fi cunoscută niciodată.

Practic, neputînd fi determinată valoarea adevărată a mărimii măsurate, se caută o valoare apropiată de cea adevărată, într-un grad mai mare sau mai mic, funcție de scopul pentru care se execută măsurătorile.

Apropierea mărimii determinate față de valoarea adevărată a acesteia caracterizează *precizia determinării*.

Prelucrarea măsurătorilor efectuate asupra unei mărimi urmărește obținerea celei mai bune valori ale acesteia și a diferenței maxime posibile între valoarea determinată și valoarea adevărată.

1.1. CLASIFICAREA MĂSURĂTORILOR

Măsurătorile, ale căror erori constituie obiectul de studiu al prezentei teorii, diferă după modul lor de prezentare și în raport cu condițiile în care sînt executate.

Astfel, după modul lor de prezentare sînt grupate în măsurători *directe*, măsurători *indirecte* și măsurători *directe cu condiții* (*condiționate*).

După condițiile în care sînt executate, măsurătorile pot fi de aceeași precizie și de precizii diferite.

a) *Măsurătorile directe* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul direct asupra mărimii care se măsoară.

b) *Măsurătorile indirecte* se caracterizează prin aceea că observațiile sînt efectuate cu instrumentul asupra altor mărimi, urmînd ca mărimile care interesează să se obțină indirect prin calcul.

c) *Măsurătorile condiționate* se caracterizează prin aceea că mărimile sînt rezultatul direct al observațiilor ce se efectuează, însă acestea trebuie să îndeplinească anumite restricții.

d) *Măsurători de aceeași precizie* sînt măsurătorile efectuate cu același instrument și în aceleași condiții, ceea ce înseamnă că observațiile pot fi considerate cu același grad de încredere.

e) *Măsurători de precizii diferite* sînt măsurătorile efectuate în condiții diferite, metode diferite de lucru sau cu instrumente diferite.

1.2. MĂSURĂTORI DIRECTE DE ACEEAȘI PRECIZIE

Considerăm că asupra unei mărimi sînt efectuate observațiile $O_1, O_2, \ldots, O_n$. Valoarea cea mai probabilă M a mărimii măsurate este dată de media aritmetică a observațiilor, respectiv :

$$M = \frac{O_1 + O_2 + O_3 + \ldots + O_n}{n} = \frac{[O]}{n} \tag{1.1}$$

Față de valoarea probabilă, valoarea cea mai bună, se definesc erorile aparente $V_1, V_2, \ldots, V_n$, ca fiind :

$$V_i = O_i - M \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.2}$$

Față de valoarea adevărată a mărimii măsurate X se definesc erorile reale $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \ldots \varepsilon_n$, ca fiind

$$\varepsilon_i = O_i - M \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.3}$$

Funcție de erorile reale, se definește eroarea medie pătratică a unei singure măsurători m_0 cu relația :

$$m_0^2 = \frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} \tag{1.4}$$

Se poate arăta egalitatea

$$\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n} = \frac{[VV]}{n-1}$$

Deci :

$$m_0^2 = \frac{[VV]}{n-1}$$

Sau :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \tag{1.5}$$

Se notează cu m eroarea medie pătratică a mediei aritmetice, iar valoarea acesteia se obține cu relația :

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{n}} \tag{1.6}$$

Rezultatul măsurătorilor se prezintă :

$$X = M \pm m \tag{1.7}$$

Dacă sînt măsurate direct și cu aceeași precizie mai multe mărimi independente $l_1, l_2, \ldots, l_n$, pentru a determina eroarea unei funcții

$$x = f(l_1, l_2, \ldots, l_n) \tag{1.8}$$

de mărimile măsurate, se folosește relația :

$$m_x = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 m^2\right]} \tag{1.9}$$

1.3. MĂSURĂTORI DIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Se consideră că asupra unei mărimi sînt efectuate observațiile $O_1, O_2, \ldots, O_n$ cu precizii diferite, deci au erorile $m_1, m_2, m_3, \ldots, m_n$.

Valoarea probabilă M a mărimii măsurate este dată de o medie aritmetică ponderată, respectiv

$$M = \frac{p_1 O_1 + p_2 O_2 + \ldots + p_n O_n}{p_1 + p_2 + \ldots + p_n} = \frac{[pO]}{[p]} \tag{1.10}$$

unde :

$$p_i = \left(\frac{m_0}{m_i}\right)^2 \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{1.11}$$

reprezintă ponderile mărimilor măsurate, m_0 fiind eroarea medie pătratică a unității de pondere.

Cum m_0 nu influențează valoarea mediei aritmetice, rezultă că ponderile pot fi calculate și cu relația

$$p_i = \frac{1}{m_i^2} \tag{1.12}$$

Erorile aparente se definesc, ca și în cazul măsurătorilor directe, de aceeași precizie, cu care se obțin

— eroarea medie pătratică a unității de pondere

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pVV]}{n-1}} \tag{1.13}$$

— eroarea medie pătratică a mediei aritmetice ponderate

$$m = \pm \frac{m_0}{\sqrt{[p]}} \tag{1.14}$$

În cazul funcțiilor de mărimi măsurate direct și de precizii diferite, de forma (1.8), se stabilește ponderea funcției, folosind :

$$\frac{1}{p_x} = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial l}\right)^2 \frac{1}{p}\right] \tag{1.15}$$

1.4. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE ACEEAȘI PRECIZIE

Cazul general al măsurătorilor indirecte se prezintă printr-un sistem de funcții de legătură neliniare între mărimile măsurate și mărimile necunoscute de forma :

$$
\begin{aligned}
f_1(x_1, x_2, \ldots, x_k) &= l'_1 \\
f_2(x_1, x_2, \ldots, x_k) &= l'_2 \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
f_n(x_1, x_2, \ldots, x_k) &= l'_n
\end{aligned}
\tag{1.16}
$$

unde

$x_1, x_2, \ldots, x_k$ sînt necunoscutele ;

$l'_1, l'_2, \ldots, l'_k$ sînt mărimile măsurate considerate fără eror

Se notează cu $l_1^0, l_2^0, \ldots, l_k^0$, mărimile măsurate și eronate, cum dealtfel există practic, și se obține

$$
\begin{aligned}
f_1(x_1, x_2, \ldots, x_k) - l_1^0 &= V_1 \\
f_2(x_1, x_2, \ldots, x_k) - l_2^0 &= V_2 \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
f_n(x_1, x_2, \ldots, x_k) - l_n^0 &= V_n
\end{aligned}
\tag{1.17}
$$

Sitemul (1.17) conține atîtea ecuații cîte mărimi măsurate există, iar numărul lor depășește cu mult numărul necunoscutelor, adică

$$n \quad k$$

Pentru liniarizarea funcțiilor (1.17) se notează cu $x_1^0 \; x_2^0 \; \ldots \; x_k$ valorile aproximative ale necunoscutelor. Aceste valori se pot obține simplu dacă se rezolvă primele k

Schema de calcul

Nr. crt.	a	b	c	l	s	aa	ab	ac	al
1	a_1	b_1	c_1	l_1	s_1	a_1a_1	a_1b_1	a_1c_1	a_1l_1
2	a_2	b_2	c_2	l_2	s_2	a_2a_2	a_2b_2	a_2c_2	a_2l_2
3	a_3	b_3	c_3	l_3	s_3	a_3a_3	a_3b_3	a_3c_3	a_3l_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	a_n	b_n	c_n	l_n	s_n	a_na_n	a_nb_n	a_nc_n	a_nl_n
	$[a]$	$[b]$	$[c]$	$[l]$	$[s]$	$[aa]$	$[ab]$	$[ac]$	$[al]$

obținute de sistemul (1.16). Fie $\Delta x_1, \Delta x_2, \ldots, \Delta x_k$ creșterile valorilor aproximative, cu care pot fi scrise egalitățile

$$
\begin{aligned}
x_1 &= x_1^0 + \Delta x_1 \\
x_2 &= x_2^0 + \Delta x_2 \\
&\ldots\ldots\ldots \\
x_k &= x_k^0 + \Delta x_k
\end{aligned}
\tag{1.18}
$$

Introducînd egalitățile (1.18) în (1.17) și dezvoltînd în serie *Taylor* se obține :

$$
\begin{aligned}
a_1 \Delta x_1 + b_1 \Delta x_2 + \ldots + k_1 \Delta x_k + l_1 &= V_1 \\
a_2 \Delta x_1 + b_2 \Delta x_2 + \ldots + k_2 \Delta x_k + l_2 &= V_2 \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
a_n \Delta x_1 + b_n \Delta x_2 + \ldots + k_n \Delta x_k + l_n &= V_n
\end{aligned}
\tag{1.19}
$$

Sistemul (1.19) reprezintă forma generală de definire a măsurătorilor indirecte și poartă numele de *sistemul ecuațiilor de erori*.

Se consideră un sistem de ecuații de erori format din n ecuații cu trei necunoscute :

$$a_i x + b_i y + c_i z + l_i = V_i \qquad (i = 1, 2, 3, \ldots, n) \tag{1.20}$$

Dacă erorile mărimilor măsurate sînt aceleași, măsurătorile sînt de aceeași precizie. Din sistemul (1.20) condiția

$$[V \; V] = \text{minim}$$

se obține sistemul ecuațiilor normale

$$
\begin{aligned}
[a\,a]\,x + [a\,b]\,y + [a\,c]\,z + [a\,l] &= 0 \\
[a\,b]\,x + [b\,b]\,y + [b\,c]\,z + [b\,l] &= 0 \\
[a\,c]\,x + [b\,c]\,y + [c\,c]\,z + [c\,l] &= 0
\end{aligned}
\tag{1.21}
$$

Pentru calculul coeficienților necunoscutelor și al termenilor liberi se folosește schema XV.1

Schema XV.1

a coeficienților

a	bb	b	bl	bs	cc	cl	cs	ll	l	ss
a_1a_1	a_1b_1	b_1c_1	b_1l_1	b_1s_1	c_1c_1	c_1l_1	c_1s_1	l_1l_1	l_1s_1	s_1s_1
a_2a_2	b_2b_2	b_2c_2	b_2l_2	b_2s_2	c_2c_2	c_2l_2	c_2s_2	l_2l_2	l_2s_2	s_2s_2
a_3a_3	b_3b_3	b_3c_3	b_3l_3	b_3s_3	c_3c_3	c_3l_3	c_3s_3	l_3l_3	l_3s_3	s_3s_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a_na_n	b_nb_n	b_nc_n	b_nl_n	b_ns_n	c_nc_n	c_nl_n	c_ns_n	l_nl_n	l_ns_n	s_ns_n
$[aa]$	$[bb]$	$[bc]$	$[bl]$	$[bs]$	$[cc]$	$[cl]$	$[cs]$	$[ll]$	$[ls]$	$[ss]$

Schema XV 2

Schema reducerii succesive

	a	b	c	l	s	Rîndul	Explicații
a	aa	ab	ac	al	as	1	În rîndul 1 figurează coeficienții și termenul liber din prima ecuație normală
	−1	$-\frac{ab}{aa}$	$-\frac{ac}{aa}$	$-\frac{al}{aa}$	$-\frac{as}{aa}$	2	Elementele din rîndul 2 se obțin prin împărțirea elementelor din rîndul 1 la primul și schimbînd semnul (se scriu în roșu)
b		bb	bc	bl	bs	3	În rîndul 3 figurează coeficienții și termenul liber din ecuația a doua normală.
		$-\frac{ab\ ba}{aa}$	$-\frac{ab\ ac}{aa}$	$-\frac{ab\ al}{aa}$	$-\frac{ab\ as}{aa}$	4	Rîndul 4 se completează înmulțind elementele din rîndul 2 (scris în roșu) cu elementul de deasupra lui și din coloana lui ab
		[bb.1]	[bc.1]	[bl.1]	[bs.1]	5	Se adună pe coloană elementele din rîndurile 3 și 4 și analog în continuare.
		−1	$-\frac{[bc.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bl.1]}{[bb.1]}$	$-\frac{[bs.1]}{[bb.1]}$	6	Se împart elementele din rîndul 5 la primul și se schimbă semnul (se scriu în roșu)
c	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	7	Coeficienții și termenul liber din a treia ecuație normală
			$-\frac{ac\ ca}{aa}$	$-\frac{ac\ al}{aa}$	$-\frac{ac\ as}{aa}$	8	Se înmulțesc elementele din rîndul 2 cu cel de deasupra lui situat pe coloana lui [illegible]
			$-\frac{[bc.1][bc.1]}{[bb.1]}$	[illegible]	[illegible]	9	Se înmulțesc elementele din rîndul 6 cu cel de deasupra lui situat pe coloana lui [illegible]
			[cc.2]	[cl.2]	[cs.2]	10	Se adună [illegible] elementele din rîndurile [illegible]
			−1	[illegible]	[illegible]	11	Se împart elementele din rîndul 10 la primul și se schimbă semnul (se scriu în roșu)

La întocmirea schemei se va avea în vedere următoarele relații de control

$$
\begin{array}{ccccc}
[a] & [b] & [c] & [l] & [s] \\
[aa] + & [ab] + & [ac] + & [al] = & [as] \\
[ab] + & [bb] + & [bc] + & [bl] = & [bs] \\
[ac] + & [bc] + & [cc] + & [cl] = & [cs] \\
[al] & [bl] & [cl] & [ll] & [sl] \\
[as] + & [bs] + & [cs] + & [ls] = & [ss]
\end{array}
\qquad (1.22)
$$

Pentru rezolvarea sistemului de ecuații normale se utilizează metoda reducerii succesive, algoritmul de calcul rezultînd din schema XV 2.
La întocmirea schemei se au în vedere următoarele relații de control

$$[bb.1] + [bc.1] + [bl.1] = [bs.1]$$

$$[cc.2] + [cl.2] = [cs.2] \qquad (1.23)$$

Necunoscutele se obțin în ordine

$$z = -\frac{[cl.2]}{[cc.2]}$$

$$y = -\frac{[bc.1]}{[bb.1]}z - \frac{[bl.1]}{[bb.1]}$$

$$x = -\frac{[ab]}{[aa]}y - \frac{[ac]}{[aa]}z - \frac{[al]}{[aa]} \qquad (1.24)$$

Pentru a stabili erorile m_x, m_y, m_z ale valorilor probabile x, y, z, se calculează mai întîi eroarea medie pătratică a unei singure observații cu relația

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-k}} \qquad (1.25)$$

unde $[VV] = [ll.2]$ și se calculează prin dezvoltarea în partea inferioară a schemei de reducere; n este numărul de ecuații; k este numărul de necunoscute.
Cu valoarea obținută cu (1.25) se obține în continuare

$$m_x = \pm m_0 \sqrt{Q_{xx}}; \quad m_y = \pm m_0 \sqrt{Q_{yy}}; \quad m_z = \pm m_z \sqrt{Q_{zz}} \qquad (1.26)$$

unde Q_{xx}, Q_{yy}, Q_{zz} sînt coeficienții de pondere care se calculează în coloane adăugate schemei de reducere.

În cazul unei funcții de mărimi măsurate indirect de forma

$$F = A_1 x + A_2 y + A_3 z \qquad (1.27)$$

eroarea este dată de relaţia :

$$m_F = \pm m_0 \sqrt{Q_{FF}} \qquad (1.28)$$

Coeficientul de pondere Q_{FF} se obţine similar cu cei din (1.26).

1.5. MĂSURĂTORI INDIRECTE DE PRECIZII DIFERITE

Caracteristic în această categorie de măsurători este că ele au erori diferite, deci ecuaţiilor din sistemul de erori (1.20) le corespund ponderile p_i

Condiţia de minim aplicată sistemului este $[p\,VV]$ = minim, în baza căreia sistemul de ecuaţii normale are forma :

$$\begin{aligned} [p\,aa]\,x + [p\,ab]\,y + [p\,ac]\,z + [p\,al] &= 0 \\ [p\,bb]\,y + [p\,bc]\,z + [p\,bl] &= 0 \\ [p\,cc]\,z + [p\,cl] &= 0 \end{aligned} \qquad (1.29)$$

Rezolvarea sistemului (1.29) şi calculul preciziilor au loc ca şi în cazul măsurătorilor indirecte de aceeaşi precizie.

1.6. MĂSURĂTORI CONDIŢIONATE DE ACEEAŞI PRECIZIE

În general, măsurătorile directe cu condiţii conduc la un sistem de ecuaţii liniare în care numărul necunoscutelor este mai mare decît numărul ecuaţiilor.

Forma unui astfel de sistem este :

$$\begin{aligned} a_1 V_1 + a_2 V_2 + \ldots + a_n V_n + \omega_1 &= 0 \\ b_1 V_1 + b_2 V_2 + \ldots + b_n V_n + \omega_2 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ r_1 V_1 + r_2 V_2 + \ldots + r_n V_n + \omega_r &= 0 \end{aligned} \qquad (1.30)$$

în care : $V_1, V_2, \ldots, V_n$ sînt corecţiile mărimilor măsurate direct

Dacă precizia de măsurare nu diferă de la o mărime măsurată la alta, măsurătorile condiţionate sînt de aceeaşi precizie, iar sistemul (1.30) se rezolvă în baza condiţiei $[VV]$ = minim.

Se obţine sistemul de ecuaţii normale :

$$\begin{aligned} [aa]\,k_1 + [ab]\,k_2 + \ldots + [ar]\,k_r + \omega_1 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ [ar]\,k_1 + [br]\,k_2 + \ldots + [rr]\,k_r + \omega_r &= 0 \end{aligned} \qquad (1.31)$$

în care : $k_1, k_2, \ldots, k_r$ sînt valori intermediare de calcul (corelate) şi cu care se determină corecţiile.

Relaţiile de calcul ale corecţiilor au forma :

$$V_i = a_i k_1 + b_i k_2 + \ldots + r_i k_r$$

$$(i = 1, 2, \ldots, n) \qquad (1.32)$$

Calculul coeficienţilor din sistemul (1.31) şi rezolvarea sistemului cu determinarea corelatelor se efectuează cu scheme analoage schemelor XV.1 şi XV.2.

Pentru determinarea erorii medii pătratice a unei singure măsurători se utilizează relaţia :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{r}} \qquad (1.33)$$

în care r este numărul ecuaţiilor de condiţie.

1.7. MĂSURĂTORI CONDIŢIONATE DE PRECIZII DIFERITE

Această categorie de măsurători se caracterizează prin aceea că mărimile măsurate direct şi supuse la condiţii au erori diferite şi deci ponderi diferite.

Sistemul ecuaţiilor de erori (1.30) ce corespunde măsurătorilor condiţionate, în general, se rezolvă ataşîndu-i condiţia :

$$[p\,VV] = \text{minim}$$

Se obţine :

$$\begin{aligned} \left[\frac{aa}{p}\right] k_1 + \left[\frac{ab}{p}\right] k_2 + \ldots + \left[\frac{ar}{p}\right] k_r + \omega_1 &= 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \left[\frac{ar}{p}\right] k_1 + \left[\frac{br}{p}\right] k_2 + \ldots + \left[\frac{rr}{p}\right] k_r + \omega_r &= 0 \end{aligned} \qquad (1.34)$$

Cu valorile corelatelor din (1.34) se calculează corecţiile folosind relaţiile

$$V_i = \frac{1}{p_i}(a_i k_1 + b_i k_2 + \ldots + r_i k_r)$$

$$(i = 1, 2, \ldots, n) \qquad (1.35)$$

Eroarea medie pătratică a unei singure măsurători se stabileşte cu relaţia :

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p\,VV]}{r}} \qquad (1.36)$$

2. MĂSURAREA MĂRIMILOR TOPOGRAFICE

2.1. MĂSURAREA UNGHIURILOR

2.1.1 INSTRUMENTE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR

Pentru măsurarea unghiurilor în geodezie şi topografie se folosesc aparate numite *teodolite*. Cu ajutorul teodolitelor se pot măsura atît unghiuri orizontale cît şi unghiuri verticale. Principiile constructive ale acestor aparate au la bază modul de definire a unghiurilor orizontale şi verticale de diferite direcţii din spaţiu. Fie, în acest sens, punctul O din care se fac observaţii către punctele P_1 şi P_2 (fig. XV.1). Normala punctului O, împreună cu punctul P_1 determină planul vertical V_1, iar aceeaşi normală împreună cu punctul P_2 determină planul vertical V_2. Evident, că linia de intersecţie O_1O_2 a planelor verticale este însăşi normala punctului O.

Unghiul orizontal α, determinat de direcţiile OP_1 şi OP_2 este unghiul diedru format de cele două plane verticale, sau unghiul format de proiecţiile direcţiilor (OP_1' şi OP_2') pe planul orizontal H. Unghiurile verticale φ_1 şi φ_2 ale celor două direcţii sînt unghiurile pe care direcţiile le fac cu proiecţiile lor pe planul H. Complementele unghiurilor verticale sînt unghiurile zenitale şi se notează cu Z_1 şi Z_2.

Aşadar, orice teodolit prin construcţie are posibilitatea materializării într-un punct O, a planului orizontal H, verticalei O_1O_2, direcţiilor OP_1 şi OP_2; de asemenea, are posibilitatea măsurării unghiurilor verticale şi a unghiului orizontal.

Există o gamă foarte largă de tipuri de aparate construite de diferite firme şi care au diferite caracteristici.

O frecventă utilizare la noi în ţară o are teodolitul *Zeiss Theo O-10*. Este un aparat de precizie folosit pentru toate lucrările geodezo-topografice la care se admite o eroare medie pătratică de pînă la 4^{cc} pentru o direcţie măsurată o singură dată în cele două poziţii ale lunetei.

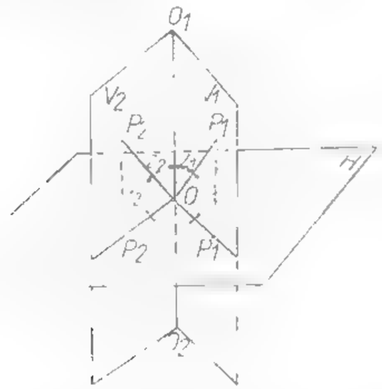


Fig. XV.1. Principiul măsurării unghiurilor orizontale şi verticale

Domeniul de utilizare este în triangulaţiile de ordinul II—V, poligonaţii, lucrări de trasare în condiţii de suprafaţă sau de subteran. Pentru efectuarea lecturilor la cercul orizontal şi vertical se foloseşte un microscop cu micrometru optic.

Părţile componente ale aparatului (fig. XV.2) sînt: *1* — lunetă; *2* — clemă de blocare a mişcării lunetei; *3* — tamburul micrometrului optic; *4* — şurub [illegible]

[illegible] lunetei; *5* — şurub micrometric al mişcării [illegible] *6* — şurub de calare [illegible] *7* — placă de tensiune; *8* — placă de [illegible] *9* — şurub de fixare a aparatului în ambază; *10* — clemă de blocare a mişcării de [illegible] al axului principal V—V; *11* — nivela [illegible] *12* — inversor de imagini; *13* — nivela torică; *14* — ocularul microscopului de citire; *15* — ocula al lunetei; *16* — manson de focusare; *17* — prismă de observare a nivelei cercului vertical; *18* — colimator; *19* — [illegible] orizontal; *20* — [illegible] vertical.

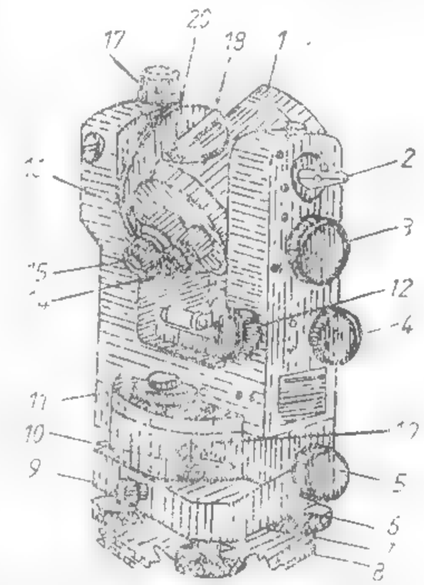


Fig. XV.2. Părţile componente ale unui teodolit.

2.1.2. METODE DE MĂSURARE A UNGHIURILOR ORIZONTALE

Metoda simplă. Pentru măsurarea unghiului α format de direcţiile $O1$ şi $O2$ (fig. XV.3) se staţionează în punctul 0, se vizează punctul 1 şi se înregistrează lectura C_1. Se roteşte aparatul în sens topografic (sensul acelor de ceasornic) şi se vizează punctul 2, înregistrîndu-se lectura C_2. Aceste două lecturi se obţin în poziţia I-a a lunetei (cercul vertical în stînga).

În poziţia II-a (cercul vertical în dreapta) se vizează punctul 2 şi se înregistrează lectura C_2', se roteşte aparatul în sens invers celui topografic, se vizează punctul 1 şi se înregistrează lectura C_1'.

Valoarea unghiului

$$\alpha = (C_2) - (C_1) \tag{2.1}$$

unde

$$(C_1) = \frac{C_1 + C_1'}{2} \; ; \quad (C_2) = \frac{C_2 + C_2'}{2}$$

Metoda seriilor complete. Pentru măsurarea unghiurilor α, β, γ, δ se face staţionarea în punctul P pe direcţiile P_1, P_2, P_3, P_4 care determină aceste unghiuri (fig. XV.4). Pe direcţia P_1 se înregistrează lectura C_1, iar prin rotirea aparatului în sens topografic lecturile C_2, C_3, C_4 pe direcţiile P_2, P_3, P_4 cu închidere pe direcţia P_1.

Cu mişcarea aparatului în sens invers şi în a doua poziţie a lunetei obţinem lecturile în ordine $\bar{C}_1'$, $\bar{C}_4$, $\bar{C}_3$, $\bar{C}_2$ şi $\bar{C}_1$.

Se stabilesc valorile probabile ale lecturilor pe direcţii, efectuînd media aritmetică a lecturilor astfel

$$(C_1) = \frac{C_1 + C_1}{2} \; ; \quad (C_2) = \frac{C_2 + C_2}{2} \; ; \quad (C_3) = \frac{C_3 + C_3}{2} \; ;$$

$$(C_4) = \frac{C_4 + \bar{C}_4}{2} \; ; \quad (C_1') = \frac{C_1' + \bar{C}_1'}{2}$$

unde valoarea (C_1') este utilizată pentru control

[illegible]

$$\alpha = (C_2) - (C_1); \quad \beta = (C_3) - (C_2); \quad \gamma = (C_4) - (C_3), \quad \delta = (C_1) - (C_4) \quad (2.2)$$

Observaţiile efectuate prin procedeul descris formează o serie de observaţii. În măsurătorile de precizie, în triangulaţii geodezice, metoda seriilor complete se aplică utilizînd

Fig. XV.3. Metoda simplă de măsurare a unui unghi.

Fig. XV.4. Metoda seriilor complete de măsurarea unghiurilor.

mai multe serii de observaţii (4, 6, 9), în fiecare serie considerînd pentru direcţia P_1 o altă valoare (origine).

2.1.3. MĂSURAREA UNGHIURILOR VERTICALE

Unghiurile verticale se obţin prin lecturi la cercul vertical. Lecturile se efectuează în cele două poziţii ale lunetei, valoarea unghiului fiind media aritmetică a lecturilor.

Dacă lecturile sînt φ_1 şi φ_2 se obţine

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \quad (2.3)$$

2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANŢELOR

2.2.1. INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA DIRECTĂ A DISTANŢELOR

În funcţie de rezultatele care se obţin în măsurători, pentru măsurarea directă a distanţelor instrumentele se clasifică în:

- instrumente puţin precise, folosite în lucrări preliminare de recunoaştere a terenului sau lucrări expeditive (lanţul cu zale, compasul);
- instrumente precise, folosite în mod obişnuit în măsurători topografice (panglica de oţel, ruleta)

— instrumente foarte precise, folosite în măsurători geodezice (firul de invar).

Panglica de oţel. Este o bandă de oţel cu lungimea de 20, 25 sau 50 m şi lăţimea 1, 2, 5 cm şi grosimi între 0,5—0,8 mm.

Panglicile au la cele două capete cîte un inel de bronz cu articulaţie, iar lungimea de 20 sau 50 m este cuprinsă între două repere gravate pe aceste inele. Diviziunile metrice sînt indicate prin cifre imprimate pe plăcuţe de aramă. Subdiviziunile decimetrice sînt indicate prin butoni mici de cupru.

Panglicile sînt divizate pe o parte într-un sens, iar pe partea opusă, invers.

Există şi panglici speciale care sînt divizate în centimetri pe toată lungimea, iar la capete sînt scale divizate în milimetri. Accesoriile necesare pentru măsurarea lungimilor cu panglica sînt *bastoanele întinzătoare* care se introduc prin inelele de bronz pentru a întinde panglica pe teren.

Întinderea panglicii se face cu o forţă egală cu forţa de etalonare de 3 daN/mm² de secţiune de panglică, valoare care se poate citi pe un dinamometru intercalat la unul din capete, între panglică şi baston.

Ruleta de oţel. Banda de oţel folosită pentru rulete are secţiunea de 0,2 × 13 mm şi lungimea de 10, 20, 25, 50 m.

Firul de invar. Permite măsurarea distanţelor cu precizia de ordinul 1 : 1 000 000. Are lungimea de 24 m sau de 48 m, materialul din care este confecţionat fiind un aliaj din fier şi nichel, cu un coeficient de dilatare foarte mic.

Pentru măsurarea bazelor se foloseşte trusa de invar, compusă din următoarele piese:

- patru fire de 24 m;
- patru fire de 8 m;
- o panglică de 4 m;
- două trepiede tensoare care servesc pentru susţinerea firului la fiecare [illegible] formă cu arcurile a două greutăţi de 10 kg;
- accesorii, termometru pentru determinarea temperaturii aerului, [illegible]
- un cablu de 24 m — pentru amplasarea trepiedelor cu cap reper la o distanţă de cît mai aproape de 24 m; miră pentru determinarea diferenţelor de nivel dintre două repere consecutive.

În timpul măsurării bazei, firul de invar este suspendat astfel ca rigletele gradate [illegible] deasupra capetelor reper mobile ale trepiedelor de pe traseu.

2.2.2. MĂSURAREA DIRECTĂ A LUNGIMILOR CU PANGLICA

Măsurarea lungimilor este precedată de *jalonarea şi prichetarea alinamentului* [illegible] dintre cele două puncte. Această operaţie marchează pe teren direcţia celor două puncte.

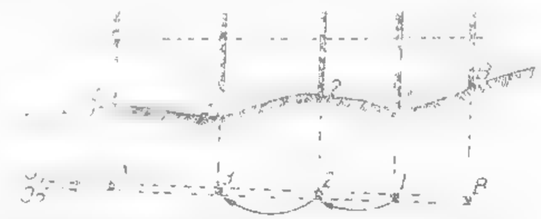


Fig. XV.5. Jalonarea alinamentului.

Jalonarea se face cu ochiul liber, cu binoclul sau cu un aparat topografic cu lunetă. Jalonarea alinamentului AB se face prin alinierea jalcanelor $1, 2, 3$, începînd de la punctul B. Alinierea se face vizînd din O_1 şi O_2 în plane tangente verticale comune la toate jalcanele aşezate succesiv pe direcţia AB (fig. XV.5).

2.2. CORECŢII APLICATE LUNGIMILOR MĂSURATE CU BENZI DE OŢEL

Corecţia de etalonare Δl_k. La determinarea acestei corecţii se ţine seama de diferenţa dintre lungimea normală l_n a panglicii şi lungimea reală l_R cunoscută din etalonare.

Corecţia pentru o lungime se calculează cu relaţia :

$$\Delta l_k = l_R - l_n$$

Corecţia pentru întreaga lungime măsurată L va fi

$$\Delta L_k = \frac{\Delta l_k \cdot L}{l_n} = \Delta l_k \cdot n$$

$n = L/l$ şi reprezintă numărul de panglici cuprinse în lungimea respectivă.

Corecţia de tensiune sau de întindere (ΔL_p). Benzile de oţel fiind elastice, lungimea lor variază în funcţie de forţa de întindere în timpul măsurării. Această corecţie nu se aplică atunci cînd în timpul măsurării panglica se întinde cu aceeaşi forţă ca la etalonare, folosind dinamometrul.

Corecţia de temperatură (ΔL_t). Datorită temperaturii din timpul măsurării, t°, diferită de cea de la etalonare, t_0, lungimea l_t a panglicii va fi

$$l_t = l\,[1 + \alpha\,(t^\circ - t_0^\circ)]$$

unde : l este lungimea panglicii ; α — coeficientul de dilataţie termică a oţelului, $\alpha = 0{,}0115$ mm/m°.

Corecţia de temperatură pentru o lungime de panglică va fi

$$\Delta l_t = l_t - l = l\,\alpha\,(t^\circ - t_0^\circ)$$

Pentru o panglică de oţel de 50 m, corecţia de temperatură se calculează :

$$\Delta l_t = 50 \cdot 0{,}0115 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) = 0{,}575 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ)$$

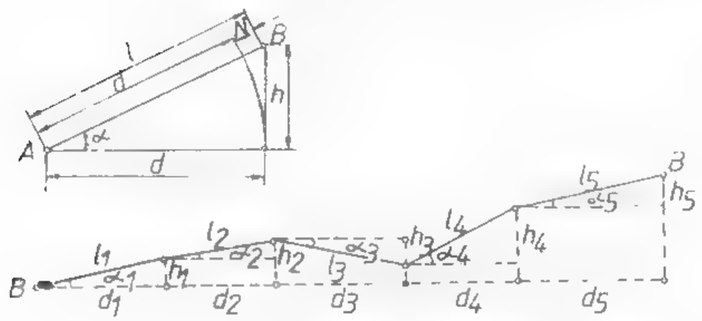


Fig. XV.6. Reducerea la orizont a distanţelor.

Pentru o lungime oarecare măsurată, corecţia de temperatură va fi :

$$\Delta L_t = 0{,}6 \text{ mm } (t^\circ - 20^\circ) \cdot \frac{L}{l}$$

Corecţia de reducere la orizont (ΔL_0). Pe teren se măsoară distanţele înclinate între punctele topografice. Aceste distanţe se vor reduce la orizont, determinîndu-se valoarea lor orizontală (fig. XV.6.)

$$d = l \cos \alpha = \sqrt{l^2 - h^2}$$

Corecţia de reducere la orizont este

$$\Delta L_0 = d - l$$

2.3. MĂSURAREA INDIRECTĂ A DISTANŢELOR

Măsurarea distanţelor reprezintă un volum mare al lucrărilor topografice pe teren iar măsurarea directă a distanţelor cu benzile şi firele de oţel este dificilă sau chiar imposibilă în terenurile cu relief accidentat, peste ape, pe şantierele de construcţii şi în localităţi. Măsurarea optică, electrooptică şi electromagnetică a distanţelor este metoda cea mai indicată în asemenea situaţii şi, în plus, este mult mai rapidă decît măsurarea directă a distanţelor în condiţiile asigurării aceleiaşi precizii.

2.3.1. METODA OPTICĂ

Utilizează ca aparatură *teodolitele tahimetre*, care sînt teodolite obişnuite cu mărcate pe placa firelor reticulare fire stadimetrice.

Un asemenea aparat se staţionează într-unul din capetele distanţei, iar la celălalt capăt se aşază în poziţie verticală o miră gradată către care se fac observaţii (fig. XV.7).

Cu observaţiile efectuate în dreptul firelor stadimetrice, pe mira gradată notate cu L_1 şi L_2, se poate obţine indirect distanţa scriind :

$$D = 100\,(L_1 - L_2) \cos^2\varphi$$

unde φ este unghiul citit la cercul vertical.

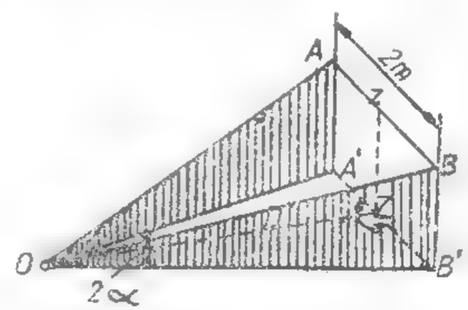


Fig. XV.7. Măsurarea tahimetrică a distanţelor.

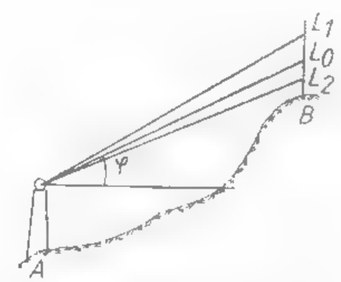


Fig. XV.8. Măsurarea distanţelor cu miră orizontală.

Este simplu de observat că atunci cînd $\varphi = 0$, deci linia de observaţie este orizontală (cazul terenurilor orizontale), $\cos^2\varphi = 1$ şi :

$$D = 100\,(L_1 - L_2)$$

În obţinerea indirectă a distanţelor pe cale optică, pot fi folosite aparate cu mai mult fire stadimetrice. Este posibil însă ca în locul mirei verticale să fie folosită o miră orizontală, realizată în acest scop, numită *miră de invar*, cu o bază fixă (fig. XV.8).

Distanta în acest caz rezultă ca fiind

$$D = \operatorname{ctg} \alpha$$

unde α este unghiul orizontal format de direcţiile ce pornesc din punctul de staţie către punctele marcate la extremităţile mirei orizontale.

De menţionat, că axa de vizar prin construcţie poate fi aşezată orizontal şi perpendicular pe linia de observaţie.

În scopul simplificării în mai mare măsură a măsurătorilor de distanţe, au fost construite aparate numite *tahimetre autoreductoare*, prevăzute cu dispozitive speciale, care dau direct distanţele reduse la orizont. Astfel există *tahimetre autoreductoare cu diagramă* (Dahlta 020, Kern DK-RV şi Wild RDS), *tahimetre autoreductoare cu dublă imagine* (Redelta 02), *tahimetre telemtre* (teletop).

2.3.2. MĂSURAREA ELECTROOPTICĂ ŞI ELECTROMAGNETICĂ A DISTANŢELOR

După *frecvenţa semnalului pe care îl emite*, aparatura electromagnetică şi electrooptică se împarte în:

1) telemetre electrooptice, care lucrează în gama undelor luminoase;

2) radiotelemetre care lucrează în gama undelor radio.

După *metoda de măsurare*, se împart în:

1) telemetre cu impulsuri;

2) telemetre fazice.

Atît telemetrele electrooptice cît şi radiotelemetrele funcţionează pe principiul măsurării timpului de propagare a undelor electromagnetice de-a lungul distanţei care se măsoară.

În funcţie de timpul parcurs dus şi întors între cele 2 extremităţi se determină distanţa de măsurat.

Aceste aparate se mai numesc şi *geodimetre*.

În această categorie se poate aminti *geodimetrul* NASN-6 care se compune din aparatul propriu-zis, ce constituie **staţia de măsurare** sau emiţătoare şi reflectorul sau **staţia reflectoare**, instalate fiecare în capetele distanţei de măsurat.

Distanţa măsurată înclinată se determină cu formula

$$D = [\varphi + (4\pi \cdot n)] \cdot C_0$$

în care: φ este diferenţa de fază; f — frecvenţa undei; C_0 — viteza de propagare în vid a luminii.

$$\varphi = 2\pi f t$$

unde t este timpul înregistrat pentru parcurgerea distanţei dus şi întors de către lumină;

$$C_0 = 299\,792{,}5 \text{ km/s}.$$

La valoarea D se adaugă corecţii meteorologice din timpul măsurării distanţei.

2.4. INSTRUMENTE DE MĂSURARE DIRECTĂ A ÎNĂLŢIMILOR

Aceste instrumente folosesc la determinarea diferenţelor de nivel dintre puncte sau la trasarea pe teren a unei cote. Se împart în două categorii:

instrumente de nivelment geometric simple (fără lunetă);

instrumente de nivelment geometric cu lunetă.

La categoria instrumentelor simple de nivelment geometric sînt: nivela cu tub de cauciuc şi lata de nivelment.

2.4.1. INSTRUMENTE DE NIVELMENT GEOMETRIC CU LUNETĂ

După modul cum se realizează orizontalizarea axei de vizare, aceste instrumente pot fi grupate în:

instrumente de nivelment geometric clasice;

instrumente de nivelment geometric cu compensator.

Nivelele clasice se compun, în general, din următoarele părţi principale (fig. XV.9): ambaza, *1*, formată din suport şi şuruburile de calare *2*, axul vertical şi alidadă, luneta *3* şi nivela torică *5*.

Nivela cu lunetă are 3 axe:

VV' — este axa de rotaţie în jurul căreia se roteşte suportul lunetei împreună cu luneta;

OO' — axa de vizare a lunetei determinată de intersecţia firelor reticulare şi centrul optic al obiectivului, axă ce trebuie să fie orizontală;

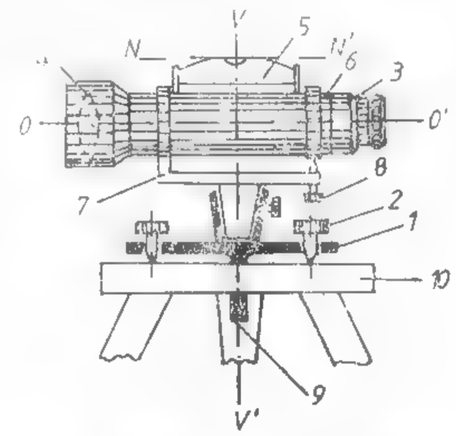


Fig. XV.9. Părţile principale ale unei nivele

1 — ambaza; *2* — şurub de calare; *3* — lunetă; *4* — obiectivul lunetei; *5* — nivela de calare; *6* — reticul; *7* — traversă; *8* — şurub de elevaţie; *9* — şurub pompă; *10* — trepied

NN' — axa sau directricea nivelei torice care trebuie să fie şi ea orizontală.

Mişcările nivelei cu lunetă se referă la:

— mişcarea lunetei în jurul axei VV'

— mişcarea în plan vertical realizată cu şurubul de fină mişcare în vederea calării nivelei torice la fiecare viză.

Instrumentele de nivelment rigide cele mai răspîndite la noi în ţară sînt aparatele firmei *Zeiss-Jena* (Ni-030; Ni-004).

Nivela Zeiss Ni 030 poate realiza o eroare medie pătratică de ± 2 mm la ± 3 mm km de dublu nivelment. Precizia de măsurare cu aparatul poate fi mărită dacă se folosește un micrometru optic de obiectiv cu placă plan paralelă și mire speciale de invar.

În acest caz, se poate obține o eroare medie pătratică de ± 0,8 mm/km de dublu nivelment.

Nivela Ni 004 se deosebește în principal de Ni 030 prin aceea că micrometrul optic este încorporat în lunetă, iar coincidența bulei nivelei torice se observă direct în cîmpul lunetei. Precizia lui este de 0,4 mm/km de dublu nivelment.

2.4.2. INSTRUMENTE DE NIVELMENT CU COMPENSATOR

Nivelele compensatoare sau automate simplifică procesul de măsurare, ducînd la sporirea randamentului lucrărilor de teren. Aceste instrumente de nivelment nu mai au nivelă torică pentru orizontalizarea axei de vizare, aceasta realizîndu-se automat cu ajutorul unui compensator, după ce în prealabil aparatul a fost calat aproximativ cu nivelă sferică.

După modul de construcție, compensatoarele pot fi:

cu pendul;

cu nivelă;

cu lichid.

Instrumentele de nivelment cu compensator folosite în țara noastră sînt Ni 001 și Ni 025.

Nivela automată Zeiss — Ni 007 este o nivelă de precizie care dă o eroare medie pătratică de ± 0,5 la 0,8 mm/km de dublu nivelment, atunci cînd citirile se efectuează pe mire cu benzi de invar. Compensatorul are un domeniu de basculare $\alpha = \pm 10'$.

3. LUCRĂRI TOPOGRAFICE LA SUPRAFAȚĂ

3.1. ELEMENTE DE GEODEZIE ȘI CARTOGRAFIE

3.1.1. FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI

Forma generală a Pămîntului este de geoid, definit prin suprafața mărilor deschise și oceanelor în starea lor de echilibru.

Caracteristica principală a suprafeței geoidului constă în aceea că în fiecare punct al său este normală la direcția forței gravitaționale. Cum însă forțele gravitaționale sînt foarte diferite, în diferite puncte ale suprafeței terestre, din cauza constituției neomogene a maselor din interiorul Pămîntului, rezultă, că este foarte dificil, aproape imposibil, a exprima matematic suprafața geoidului. S-a ajuns la concluzia, că suprafața care poate fi ușor exprimată matematic și este foarte apropiată de geoid este suprafața unui elipsoid

de rotație. Pe baza acestor precizări, secționînd suprafața terestră cu un plan vertical (fig. XV.10) se disting: suprafața topografică (*1*), suprafața geoidului (*2*) și suprafața elipsoidului (*3*).

Dimensiunile Pămîntului sînt în principal dimensiunile elipsoidului, sau ale elipsei care îl generează.

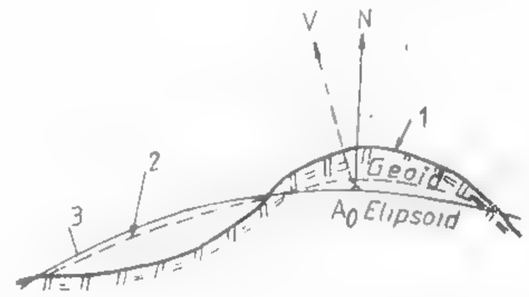


Fig. XV.10. Secțiune prin suprafața terestră.

Măsurătorile efectuate la diferite perioade de timp au condus la stabilirea diferitelor elipsoide ale elipsoidului terestru mai mult sau mai puțin apropiate de adevăr, funcție de tehnica de măsurare și mijloacele de calcul cunoscute la acea vreme.

Tabelul XV.1

Dimensiunile elipsoidului de rotație

Autorul	Anul	Semiaxa mare	Turtirea
Bessel	1841	6 377 397	1 299,15
Clarke	1880	6 378 249	1 293,5
Helmert	1906	6 378 140	1 298,3
Hayford	1909	6 378 388	1 297,0
Krasovski	1940	6 378 245	1 298,3

În tabelul XV.1 sînt indicați autorii și rezultatele lor cu privire la semiaxele elipsei care generează elipsoidul terestru.

3.1.2. SUPRAFEȚE DE REFERINȚĂ

Pentru reprezentarea suprafeței Pămîntului cu neregularitățile pronunțate pe care le prezintă se stabilesc anumite legi sau convenții, astfel încît imaginea obținută să fie cît mai apropiată de realitate.

Astfel, funcție de extinderea suprafețelor care se reprezintă și de natura ridicărilor geodezice și topografice, se pot folosi diferite suprafețe de referință:

— *suprafața geoidului* — folosită pentru ridicările nivelitice, acestea constituind suprafața de nivel zero;

— *suprafața elipsoidului* — folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafețe mari.

Un punct P de pe suprafaţa fizică a Pămîntului este proiectat în P' pe suprafaţa elipsoidului cu ajutorul normalei N la această suprafaţă (fig. XV.11).

În acest fel toate punctele principale (care formează reţelele geodezice de sprijin) sînt trecute de pe suprafaţa fizică a Pămîntului pe suprafaţa elipsoidului de referinţă.

Suprafaţa sferei de rază medie, folosită în ridicările geodezice de planimetrie pe suprafeţe mici. Se poate demonstra că suprafaţa elipsoidului de referinţă [illegible] în mo-

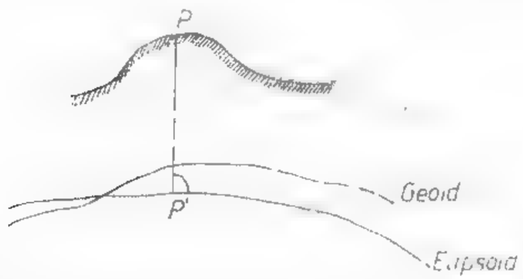


Fig. XV.11. Proiectarea unui punct pe suprafaţa elipsoidului

cuită cu suprafaţa unei sfere a cărei rază este $R = \sqrt{MN}$, calculată în funcţie de latitudinea punctului situat în centrul teritoriului considerat.

Raza sferei reprezintă o rază medie de curbură, iar M şi N sînt razele principale de curbură respectiv: M — raza de curbură a curbei meridiane, N — raza de curbură normalei la meridian în punctul în care se calculează.

Suprafaţa plană. Calculele pe suprafaţa elipsoidului şi chiar pe suprafaţa sferei de rază medie sînt voluminoase şi destul de dificile. Acestea pot fi însă simplificate prin adoptarea unei suprafeţe plane, care corespunde cu un anumit sistem de reprezentare sau de proiecţie.

În ţara noastră sînt folosite în prezent două sisteme de reprezentare [illegible] *cilindric-transversal* sau *Gauss-Krüger* şi *sistemul stereografic cu plan secant*.

Corespunzător cu aceste sisteme de reprezentare se obţin coordonate [illegible] tangulare *Gauss-Krüger* sau coordonatele plane stereografice.

3.1.3. COORDONATE PLANE GAUSS-KRÜGER

Proiecţia cilindrică transversală aparţine proiecţiilor cilindrice conforme, adică păstrează nedeformate unghiurile.

În proiecţia cilindrică transversală întreaga suprafaţă a globului terestru sau o anumită porţiune din aceasta este reprezentată pe suprafaţa desfăşurabilă a [illegible] cilindru a cărui axă face cu axa polilor un unghi de 90° (fig. XV.12).

Se observă că cilindrul este tangent la ecuator numai în două puncte, [illegible] acelea care aparţin cercului mare format de meridianul PMP.

De altfel acest cerc este linia de contact a cilindrului cu suprafaţa terestră şi care în proiecţie rămîne nedeformat.

Lungimile situate în stînga sau în dreapta meridianului de tangenţă [illegible] se deformează, deformaţiile fiind cu atît mai mari cu cît acestea sînt situate [illegible] faţă de meridian. Pentru acest motiv, în proiecţia cilindrică reprezentarea suprafeţei

se face pe zone de 6° diferenţă de longitudine, respectîndu-se în acest mod limita maximă admisibilă a deformărilor de lungimi de 1/2500.

Pentru ca totuşi întreaga suprafaţă a globului terestru să poată fi reprezentată în planul obţinut prin desfăşurarea cilindrului după una din generatoarele sale, se va împărţi suprafaţa în zone limitate de meridiane cu diferenţe de longitudine de 6°, urmînd ca în continuare, printr-o mişcare imaginară a globului, [illegible] considere cilindrul de pro-

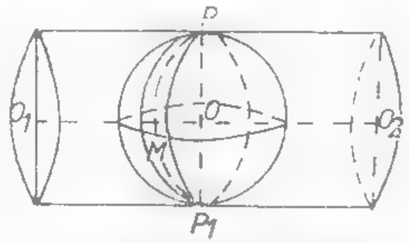


Fig. XV.12. Reprezentarea cilindrică transversală.

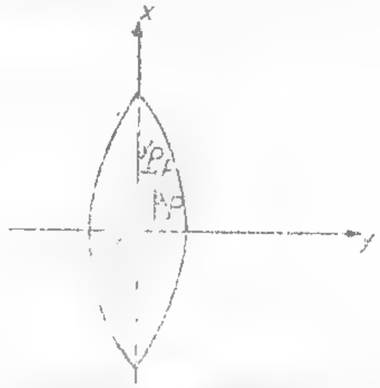


Fig. XV.13. Coordonatele unui punct în proiecţie cilindrică.

[illegible] meridianul axial al fiecărei zone. Vor exista în total 60 de zone care se numesc *fuse*, iar fiecare din acestea va fi împărţit în două părţi egale de către meridianul axial ce îl străbate în lungime.

Proiecţia cilindrică transversală foloseşte, pentru reprezentarea suprafeţei, sisteme de coordonate rectangulare specifice [illegible] fuse [illegible] din cele 60 de fuse [illegible] sistemul sau de coordonate.

Axele de coordonate sînt dispuse astfel:

[illegible] pe direcţia meridianului axial

[illegible] – pe direcţia ecuatorului.

Întrucît faţă de aceste axe diferite puncte care aparţin fusului ce se reprezintă pot avea coordonate negative [illegible] semnul [illegible] acestor să aibă coordonatele: $x = 0.000$ km, $y = 500\,000$ km.

În acest fel citirea coordonatelor unui punct dintr-un fus oarecare se face după cum urmează:

— abscisa x se citeşte potrivit rezultatelor obţinute din calcul;

ordonata y se citeşte [illegible] rezultatului obţinut din calcul, la care se adaugă 500 km (dacă punctul este situat în dreapta meridianului axial) sau se scade din 500 km (dacă punctul este situat în stînga meridianului axial). Pentru a indica şi numărul fusului în care se află punctul, se adaugă în faţa ordonatei numărul fusului faţă de meridianul Greenwich.

Exemplu. Punctul P situat în dreapta meridianului axial (fig. XV.13) de coordonate: $x_P = 5\,293\,625{,}43$ m; $y_P = 5\,504\,423{,}21$ m se află în fusul 5, la o depărtare de 5 293 625,43 faţă de ecuator şi de (504 423,21 — 500 000) = 4 423,21 m faţă de meridianul axial, această din urmă distanţă considerată în dreapta meridianului axial.

3.1.4. COORDONATE PLANE STEREOGRAFICE

În proiecția stereografică, o porțiune oarecare din suprafața terestră se reprezintă pe un plan de reprezentare după legile perspectivei liniare.

Funcție de poziția planului în raport cu suprafața terestră se disting:

proiecția stereografică cu plan tangent, atunci cînd planul de reprezentare este tangent la suprafața terestră în punctul central al porțiunii de suprafață care se reprezintă;

proiecția stereografică cu plan secant, atunci cînd planul de reprezentare este secant la suprafața terestră.

Dacă se urmărește reprezentarea grafică (fig. XV.14), se pot preciza elementele geometrice de bază ale proiecției stereografice cu plan tangent. Astfel sînt:

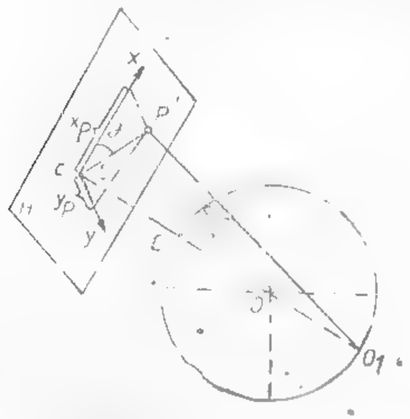


Fig. XV14. Proiecția stereografică.

C — punctul central al porțiunii de suprafața care se reprezintă (pentru țara noastră $\varphi_C = 46°$, $\lambda_C = 25°$);

H — planul de reprezentare;

P — un punct oarecare, ce aparține porțiunii de suprafață care se reprezintă;

O_1 — punctul de vedere, diametral opus punctului C și din care pornesc razele de proiecție;

P' — imaginea punctului P în planul de reprezentare;

s și α — elementele geodezice cu care se definește pe suprafața terestră poziția punctului P față de sistemul de referință format din punctul C și meridianul geografic ce trece prin acest punct;

S și α — elementele plane cu care se definește poziția punctului P' față de sistemul de referință xcy, orientat în așa fel încît axa x-ilor coincide cu direcția meridianului punctului C, iar axa y-ilor coincide cu direcția paralelului punctului C.

Elementele geometrice de bază se definesc în mod similar și pentru proiecția stereografică cu plan secant.

Pentru ca toate punctele situate pe teritoriul țării noastre să posede coordonate pozitive, sistemul de coordonate este translatat astfel încît originea are coordonatele:

$$x = 500{,}000 \text{ km}; \quad y = 500{,}000 \text{ km}.$$

Proiecția stereografică este ca și proiecția cilindrică transversală conformă, însă calitativ superioară în sensul că deformațiile liniare sînt mult mai mici.

Observație. În scopul reducerii deformațiilor liniare și creșterii calității documentelor topografice, în bazinele miniere dezvoltate pe suprafețe mari se folosesc sisteme de proiecție locale (sistemul minier). Aceste sisteme independente inițial, dar ulterior racordate la sistemul de proiecție național, sînt similare cu sistemul stereografic de proiecție. Punctul central de proiecție este situat în centrul bazinului minier, poziția planului de proiecție este la nivelul mediu al lucrărilor miniere subterane.

3.2. TRIANGULAȚIA

Triangulația reprezintă o metodă de determinare a poziției punctelor de pe suprafața Pămîntului pe una din suprafețele de referință adoptată.

Pozițiile punctelor pe suprafața de referință se stabilesc prin coordonatele lor geografice dacă suprafața este elipsoidală sau sferică, respectiv rectangulare dacă suprafața de referință este plană.

Totalitatea punctelor situate pe suprafața terestră pentru care se cunosc coordonatele într-un anumit sistem formează *rețeaua geodezică de sprijin*.

Pe această rețea de sprijin se dezvoltă în continuare lucrările topografice și fotogrammetrice necesare în realizarea planurilor topografice de la suprafață și în continuare cele din subteran.

3.2.1. REȚEAUA DE TRANGULAȚIE DE STAT

Rețeaua geodezică de sprijin este formată din totalitatea punctelor de trangulație existente pe teritoriul țării și constituie *rețeaua de trangulație de stat*. Aceasta este împărțită în rețele de trangulație de diferite ordine, care diferă în primul rînd prin lungimea laturilor figurilor geometrice din care sînt formate. Astfel sînt formate rețelele de triangulație de ordinul: I, II, III, IV, V.

Lungimile medii și mărimile ce corespund acestor ordine sînt cuprinse în tabelul XV.2.

Tabelul XV.2

Ordinul punctelor geodezice

Ordinul de triangulație	Lungimea medie a laturii [km]	Lungimea minimă a laturii [km]
I	20—25	10
II	13	7
III	8	5,5
IV	4	2
V	2	1

3.2.2. REALIZAREA REȚELEI DE TRIANGULAȚIE DE STAT

Principiul în realizarea rețelei de triangulație de stat este de la superior către inferior. Conform acestui principiu s-a realizat mai întîi rețeaua de triangulație de ordinul I și în continuare, cu sprijin pe aceasta rețelele de ordinul II, III, IV și V. Triangulația de ordinul

I s-a realizat sub forma unei reţele compacte (fig. XV.15) de figuri geometrice — în majoritate triunghiuri şi uneori patrulatere cu duble diagonale — şi a fost rezolvată în bloc cu ajutorul tehnicii actuale de calcul.

Reţeaua de triangulaţie de ordinul II constituie o dezvoltare a reţelei de triangulaţie de ordinul I, reţeaua de triangulaţie de ordinul III o dezvoltare a reţelelor de ordinul I şi II şi aşa mai departe. Legăturile între punctele de triangulaţie de diferite ordine se realizează de la simplu la complex (fig. XV.16

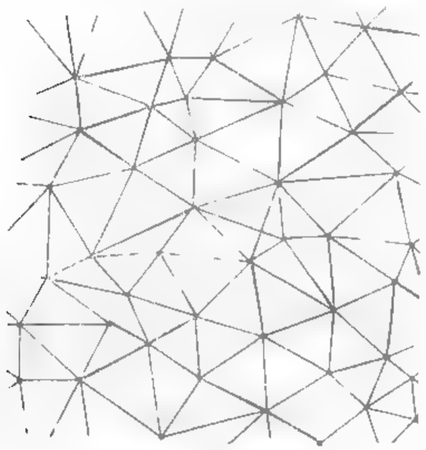


Fig. XV.15. Triangulaţia de ordinul I.

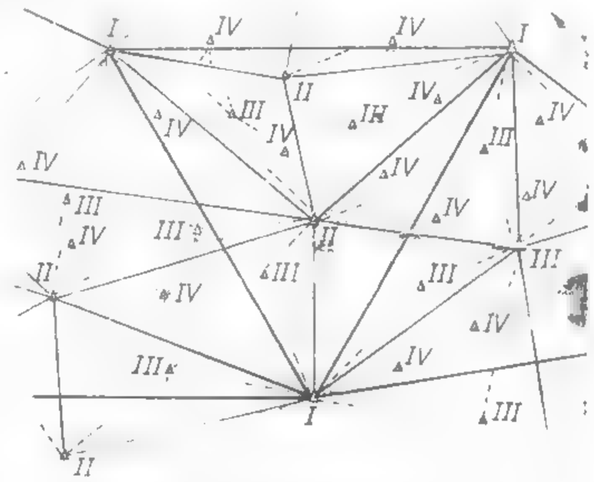


Fig. XV.16. Legătura între punctele de triangulaţie.

Reţelele de triangulaţie de ordinele I, II, şi III formează reţeaua de ordin superior, iar reţelele de triangulaţie de ordinele IV şi V formează reţeaua de ordin inferior.

3.2.3. IMPORTANŢA ŞI CARACTERUL REŢELEI DE TRIANGULAŢIE

Reţeaua de triangulaţie de stat constituie principala reţea de sprijin pentru toate lucrările topografice şi fotogrammetrice precum şi pentru lucrările geodezice de importanţă locală, conform cerinţelor realizării unor obiective economce. Avînd în vedere principiul realizării reţelei de triangulaţie rezultă, că o reţea poate fi independentă sau liberă, dacă conţine un singur grup de elemente cunoscute sau fixe (latură, orientare, coordonatele unui punct), sau poate fi dependentă sau constrînsă dacă conţine mai multe elemente fixe.

În zonele miniere, dat fiind extinderea lor pe suprafeţe mari, există puncte ce aparţin reţelei de triangulaţie de stat. O primă problemă care se pune este legată de dezvoltarea reţelei de triangulaţie de stat cu puncte noi de triangulaţie necesare efectuării lucrărilor de topografie minieră. Avînd în vedere caracterul de instabilitate a suprafeţelor datorită lucrărilor de exploatare minieră, punctele de traingulaţie îşi pot modifica poziţia în timp. De aici, apare o a doua problemă care se referă la verificarea reţelelor de triangulaţie formate de punctele situate în zonele miniere şi folosite ca bază de sprijin în obţinerea punctelor noi. Sînt situaţii cînd verificarea reţelelor de triangulaţie se realizează simultan cu dezvoltarea acestora.

3.2.4. VERIFICAREA REŢELELOR DE TRIANGULAŢIE

În perimetrul bazinului sau exploatării miniere se stabilesc punctele ce aparţin reţelei de stat şi care formează o reţea de triangulaţie, de regulă, de ordinul IV - V.

Aceste puncte cu legături directe între ele conduc la forme geometrice simple numite fi (fig. XV.17) : poligon cu punct central, patrulatere cu două diagonale lanţ de triunghiuri, lanţ de patrulatere etc.

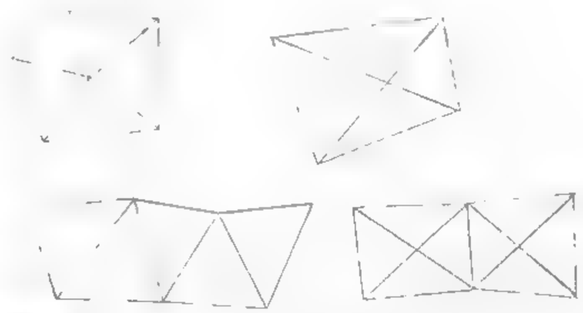


Fig. XV.17. Reţele de triangulaţie — forme.

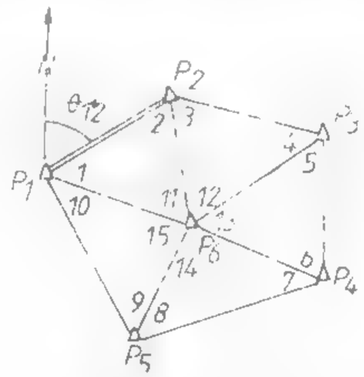


Fig. XV.18. Reţea de triangulaţie de forma unui poligon cu punct central.

Se consideră în continuare punctele de triangulaţie $P_1, P_2, \ldots, P_4$ care formează un poligon cu punct central (fig. XV.18).

Se efectuează în aceste puncte observaţii de direcţii după metoda seriilor complete, din care rezultă unghiurile *1, 2, ..., 15*. Principala operaţie pe care o implică verificarea reţelei de triangulaţie considerată se referă la prelucrarea mărimilor măsurate. Se urmăreşte prin aceasta stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor în baza unor relaţii de condiţii geometrice, impuse de natura şi forma reţelei de triangulaţie.

Astfel, se consideră din totalitatea punctelor, ca fiind cunoscute numai coordonatele punctelor P_1 şi P_2, celelalte urmînd a fi determinate şi deci a fi verificate. Este vorba de o reţea de triangulaţie independentă cu un punct (P_1) de coordonate cunoscute, cu orientare (θ_{12}) şi o distanţă (P_1P_2) de asemenea cunoscute (calculate din coordonatele punctelor P_1 şi P_2).

Pentru reţelele de triangulaţie independente numărul relaţiilor de condiţii se stabileşte cu expresiile :

$$W_1 = l_1 - p_1 + 1$$

$$W_2 = n_0$$

$$s = l - 2p + 3$$

$$r = \omega - 2p + 4 \quad (r = W_1 + W_2 + s) \qquad (3.1)$$

S-a notat cu :

W_1 — numărul condiţiilor de figură ; W_2 — numărul condiţiilor de centru ; s — numărul condiţiilor de laturi ; r — numărul total de condiţii ; l_1 — numărul laturilor cu

vize duble, p_1 — numărul punctelor staţionabile, n_0 — numărul punctelor la care sînt măsurate toate unghiurile; p — numărul total de puncte de triangulaţie; ω — numărul total de unghiuri măsurate.

Pentru reţeaua de triangulaţie considerată, rezultă:

$$W_1 = 10 - 6 + 1 = 5$$

$$W_2 = 1$$

$$s = 10 - 2 \cdot 6 + 3 = 1$$

$$\omega = 15 - 2 \cdot 6 + 4 = 7 \quad (7 = 5 + 1 + 1) \tag{3.2}$$

Notînd cu (1), (2), ..., (15) valorile probabile ale unghiurilor, poate fi scrisă forma condiţiilor geometrice astfel

$$(1) + (2) + (11) = 200$$

$$(3) + (4) + (12) = 200$$

$$(5) + (6) + (13) = 200$$

$$(7) + (8) + (14) = 200$$

$$(9) + (10) + (15) = 200$$

$$(11) + (12) + (13) + (14) + (15) = 400$$

$$\frac{\sin(1)\sin(3)\sin(5)\sin(7)\sin(9)}{\sin(2)\sin(4)\sin(6)\sin(8)\sin(10)} = 1 \tag{3.3}$$

Dacă, $V_1, V_2, \ldots, V_1$ sînt corecţiile probabile ale unghiurilor măsurate, putem scrie:

$$(1) = 1 + V_1$$

$$(2) = 2 + V_2$$

$$(15) = 15 + V_{15} \tag{3.4}$$

iar relaţiile (3.3) devin:

$$V_1 + V_2 + V_{11} + \omega_1 = 0$$

$$V_3 + V_4 + V_{12} + \omega_2 = 0$$

$$V_5 + V_6 + V_{13} + \omega_3 = 0 \tag{3.5}$$

$$V_7 + V_8 + V_{14} + \omega_4 = 0$$

$$V_9 + V_{10} + V_{15} + \omega_5 = 0$$

$$V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega_6 = 0$$

$$d_1V_1 - d_2V_2 + d_3V_3 - d_4V_4 + d_5V_5 - d_6V_6 + d_7d_7 - d_8V_8 - d_9V_9 - d_{10}V_{10} + \omega_7 = 0$$

Sistemul (3.5) se numeşte *sistemul ecuaţiilor de erori*, iar termenii liberi şi coeficienţii corecţiilor se obţine astfel

$$\omega_1 = 1 + 2 + 11 - 200$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\omega_5 = 9 + 10 + 15 - 200$$

$$\omega_6 = 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400 \tag{3.6}$$

$$\omega_7 = \sin 1 \sin 3 \ldots \sin 9 - \sin 2 \sin 4 \ldots \sin 10$$

$$d_1 = \sin 1 \sin 3 \ldots \sin 9 \frac{\Delta 1}{\sin 1}$$

$$d_2 = \sin 2 \sin 4 \ldots \sin 10 \frac{\Delta 2}{\sin 2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$\Delta_1, \Delta_2, \ldots$ sînt diferenţe tabulare din tabelele de funcţii naturale. Utilizînd metodele din *teoria erorilor şi metoda celor mai mici pătrate* sistemul de ecuaţii se transformă în sistemul de ecuaţii normale:

$$[aa]\,k_1 + [ab]\,k_2 + \ldots + [ag]\,k_7 + \omega_1 = 0$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$[ag]\,k_1 + [bg]\,k_2 + \ldots + [gg]\,k_7 + \omega_7 = 0 \tag{3.7}$$

$a_i, b_i, \ldots, g$ — sînt coeficienţii corecţiilor din sistemul de ecuaţii (3.5); $k_1, k_2, \ldots, k_7$ — [illegible]

Calculul valorilor probabile ale corecţiilor utilizează relaţia

$$V_i = a_i k_1 + b_i k_2 + \ldots + g_i k_7 \quad (i = 1, 2, \ldots, 15) \tag{3.8}$$

Egalităţile (3.4) conduc în cele din urmă la stabilirea valorilor probabile ale unghiurilor din reţeaua de triangulaţie.

Cu valorile probabile ale unghiurilor se calculează valorile laturilor reţelei de triangulaţie, orientările laturilor şi coordonatele punctelor.

Pentru aceasta se stabilesc mai întîi orientarea direcţiei P_1P_2 şi mărimea laturii P_1P_2. În acest scop se va scrie:

$$\operatorname{tg} \theta_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{3.9}$$

$$P_1P_2 = \frac{x_2 - x_1}{\cos \theta_{12}} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{3.10}$$

Calculul orientărilor laturilor se efectuează pornind de la orientarea laturii P_1P_2, astfel:

$$\theta_{23} = \theta_{21} - [(2) + (3)] = \theta_{12} - [(2) + (3)] \pm 200$$

$$\theta_{34} = \theta_{12} - [(2) + (3) + (4) + (5)] \pm 2 \cdot 200 \tag{3.11}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

De asemenea, pentru calculul laturilor se porneşte de la latura P_1P_2 şi, folosind teorema sinusurilor, se obţine:

$$P_2P_5 = \frac{P_1P_2}{\sin(11)} \sin(1); \qquad P_3P_6 = \frac{P_2P_6}{\sin(4)} \sin(3) \qquad (3.12)$$

Coordonatele punctelor din reţeaua de triangulaţie se obţin scriind:

$$x_3 = x_2 + P_2P_3 \cos\theta_{23}$$

$$y_3 = y_2 + P_2P_3 \sin\theta_{23}$$

Valorile coordonatelor obţinute se compară cu valorile coordonatelor determinate prin rezolvarea triangulaţiei de stat şi dacă diferenţele nu sînt mai mari de ± 15 cm rezultă că punctele nu au avut deplasări în timp. În caz contrar, punctele au fost deplasate, iar coordonatele iniţiale nu mai corespund.

3.2.5. DEZVOLTAREA REŢELELOR DE TRIANGULAŢIE

Prin dezvoltarea reţelelor de triangulaţie se înţelege determinarea de noi puncte în scopul creşterii densităţii punctelor cunoscute pe o anumită suprafaţă. Printre punctele ce se obţin prin dezvoltarea reţelei de triangulaţie sînt şi punctele situate în apropierea lucrărilor miniere de deschidere şi de la care se transmit elementele topografice (coordonate şi orientări) în subteran.

Pentru dezvoltarea reţelei de triangulaţie se folosesc: *metoda intersecţiilor unghiulare* şi *metoda traseelor poligonale*.

Metoda intersecţiilor unghiulare. Dacă există punctele de triangulaţie staţionabile şi cu coordonatele cunoscute, se pot determina coordonatele unui punct P_0 în situaţia în care există posibilitatea măsurării unghiurilor α şi β (fig. XV.19).

Pentru aceasta se scriu ecuaţiile dreptelor care trec prin punctele P_1 şi P_2 şi unghiurile de orientare către punctul P_0 cunoscute. Se obţine

$$y_0 - y_1 = (x_0 - x_1) \operatorname{tg}\theta_{10}; \qquad y_0 - y_2 = (x_0 - x_2) \operatorname{tg}\theta_{20} \qquad (3.13)$$

Din sistemul (3.13) rezultă

$$x_0 = \frac{y_2 - y_1 + x_1 \operatorname{tg}\theta_{10} - x_2 \operatorname{tg}\theta_{20}}{\operatorname{tg}\theta_{10} - \operatorname{tg}\theta_{20}} \qquad (3.14)$$

$$y_0 = y_1 + (x_0 - x_1) \operatorname{tg}\theta_{10} = y_2 + (x_0 - x_2) \operatorname{tg}\theta_{20}$$

Pentru valori mari ale orientărilor se folosesc relaţiile în cotangentă, obţinute similar cu relaţiile (3.14) şi au forma:

$$y_0 = \frac{x_2 - x_1 + y_1 \operatorname{ctg}\theta_{10} - y_2 \operatorname{ctg}\theta_{20}}{\operatorname{ctg}\theta_{10} - \operatorname{ctg}\theta_{20}} \qquad (3.15)$$

$$x_0 = x_1 + (y_0 - y_1) \operatorname{ctg}\theta_{10} = x_2 + (y_0 - y_2) \operatorname{ctg}\theta_{20}$$

Verificarea de teren a coordonatelor punctului P_0 este obligatorie şi constă în rezolvarea intersecţiei unghiulare din alte două puncte cunoscute sau dintr-un punct folosit la prima intersecţie (P_1 sau P_2) şi un al treilea punct cunoscut. Diferenţele între coordonatele de acelaşi nume obţinute din cele două intersecţii nu trebuie să fie mai mari de ± 15 cm. Dacă această limită nu este depăşită, valorile definitive se obţin prin medii aritmetice simple.

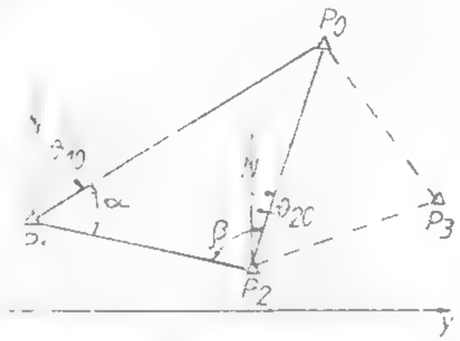


Fig. XV.19. Intersecţia unghiulară.

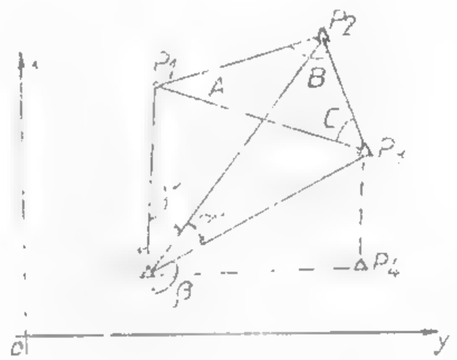


Fig. XV.20. Retrointersecţia.

Coordonatele unui punct P_0 se obţin şi în cazul în care sînt cunoscute coordonatele a trei puncte nestaţionabile P_1, P_2, P_3 şi unghiurile α şi β măsurate în punctul P_0 (fig. XV.20).

Procedeul cel mai simplu de rezolvare utilizează relaţiile

$$x_0 = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3}{p_1 + p_2 + p_3}; \qquad y_0 = \frac{p_1y_1 + p_2y_2 + p_3y_3}{p_1 + p_2 + p_3} \qquad (3.16)$$

în care

$$p_1 = \frac{1}{\operatorname{ctg} A - \operatorname{ctg}\alpha}; \qquad p_2 = \frac{1}{\operatorname{ctg} B - \operatorname{ctg}\beta};$$

$$p_3 = \frac{1}{\operatorname{ctg} C - \operatorname{ctg}\gamma} \qquad (3.17)$$

Se observă, că unghiurile A, B, C se obţin din orientările direcţiilor determinate de punctele cunoscute, iar între notaţii există corespondenţa evidenţiată de figură.

Este obligatoriu a fi efectuată verificarea de teren cu rezolvarea intersecţiei dintr-o staţie de 3 puncte cunoscute în care cel puţin un punct să fie diferit de primele trei puncte. Valorile definitive ale coordonatelor punctului P_0 se obţin ca în cazul precedent.

Metoda traseelor poligonale. Este metoda prin care se determină coordonatele unor puncte noi pe baza măsurătorilor de unghiuri şi distanţe. Unghiurile şi distanţele sînt elementele geometrice definite de o succesiune de puncte legate între ele sub forma unei poligonale (fig. XV.21).

[illegible] și natura elementelor geodezice cunoscute cu care nu este date coordonate și orientări, se cunosc mai multe tipuri de trasee poligonale (fig. XV.21) și anume:

traseu poligonal cu două puncte fixe și două orientări fixe (a);

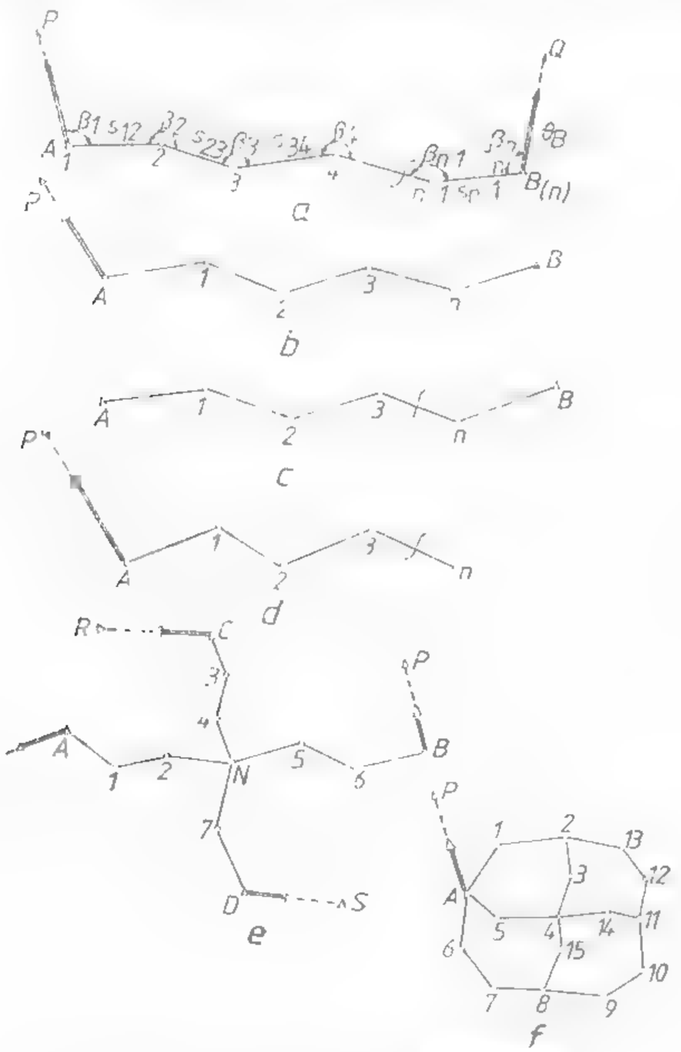


Fig. XV.21. Tipuri de trasee poligonale.

traseu poligonal cu două puncte fixe și o orientare fixă (b);
traseu poligonal cu două puncte fixe (c);
traseu poligonal cu un punct fix și o orientare fixă (d);
trasee poligonale cu un punct nodal sau mai multe puncte nodale (e);
trasee poligonale acolate (f).

La dezvoltarea rețelelor de triangulație se includ frecvent trasee poligonale de tipul (a).

Aceste trasee realizează legătură între două puncte de triangulație de ordinul V, [illegible] o lungime medie de 2 km. Lungimea laturilor nu depășește 200 m, pentru a putea fi măsurate direct sau indirect cu dispozitivul autoreductor, în condiții de precizie ridicată.

Considerăm traseul poligonal cu punctele cunoscute (fixe) A și B și orientări fixe (cunoscute) θ_A și θ_B (fig. XV.21). Se notează unghiurile măsurate cu $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_n$ și distanțele măsurate cu $s_{12}, s_{23}, \ldots, s_{n-1,n}$.

Prin determinarea coordonatelor punctelor ce formează traseul poligonal 2, ..., $n-1$ se procedează astfel:

se calculează orientările provizorii ale laturilor

$$\theta'_{12} = \theta_A + \beta_1$$

$$\theta'_{23} = \theta'_{21} + \beta_2 = \theta'_{12} + \beta_2 \pm 200 = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 \pm 200$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\theta'_{n-1,n} = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \ldots + \beta_{n-1} \pm (n-2)\,200$$

$$\theta'_B = \theta_A + \beta_1 + \beta_2 + \ldots + \beta_n \pm (n-1)\,200$$

se stabilește diferența

$$W'_\beta = \theta'_B - \theta_B$$

care trebuie să îndeplinească condiția:

$$W'_\beta \leq m_\beta \sqrt{n}$$

în care m_β este eroarea medie pătratică de măsurare a unui unghi, iar n numărul unghiurilor măsurate.

Se stabilește

$$f_\beta = \frac{W'_\beta}{n}$$

și apoi se orientările definitive

$$\theta_{12} = \theta'_{12} + f_\beta$$

$$\theta_{23} = \theta'_{23} + 2f_\beta$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\theta_{n-1,n} = \theta'_{n-1,n} + (n-1)\,f_\beta$$

Se stabilesc coordonatele provizorii ale punctelor

$$x'_2 = x_1 + s_{12}\cos\theta_{12}$$

$$y'_2 = y_1 + s_{12}\sin\theta_{12}$$

$$\ldots\ldots\ldots$$

$$x'_B = x_1 + s_{12} \cos \theta_{12} + \ldots + s_{n-1,n} \cos \theta_{n-1,n}$$

$$y'_B = y_1 + s_{12} \sin \theta_{13} + \ldots + s_{n-1,n} \sin \theta_{n-1,n}$$

se stabilesc diferentele

$$x'_B - x_B = W_x \quad y'_B - y_B = W_y$$

şi se verifică condiţia

$$W_x, W_y \leqslant \pm 5 \text{ cm} \sqrt{L}$$

unde L este lungimea traseului poligonal în sute de metri;

- se stabilesc

$$\frac{W_x}{[S]} = k_x; \quad \frac{W_y}{[S]} = k_y; \quad [S] = s_{12} + s_{23} + \ldots + s_{n-1,n}$$

- se stabilesc coordonatele definitive

$$x_2 = x'_2 + s_{12} k_x$$

$$y_2 = y'_2 + s_{12} k_y$$

$$x_3 = x'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_x$$

$$y_3 = y'_3 + (s_{12} + s_{23}) k_y$$

. . . . . .

3.3. TRILATERAŢIA

Tehnica măsurătorilor de distanţe a evoluat şi a cunoscut progrese importante în ultima perioadă. Construirea instrumentelor pe principii noi, bazate pe utilizarea undelor electromagnetice, electrooptice şi undelor laser a permis lărgirea considerabilă a domeniului măsurătorilor de distanţe.

Astfel, este posibilă măsurarea în mod indirect a distanţelor de orice mărime cu mare precizie şi în condiţii mult variate. De asemenea, timpul în care sînt desfăşurate operaţiile de măsurare este relativ scurt, permiţînd o reducere considerabilă a perioadei de lucru în teren. Aceste avantaje permit înlocuirea cu mult succes a măsurătorilor unghiulare cu cele de distanţe, atît în probleme de triangulaţie geodezică cît şi în probleme de dezvoltare a triangulaţiilor geodezice. Înlocuirea măsurătorilor de unghiuri cu cele de distanţe în reţelele geodezice de sprijin a creat, implicit, metode noi de rezolvare a acestor reţele. A fost schimbată însăşi denumirea, din reţele de triangulaţie în reţele de trilateraţie.

3.3.1. COMPENSAREA LATURILOR ÎN REŢELELE DE TRILATERAŢIE

Compensarea mărimilor măsurate (laturilor) în scopul determinării valorilor lor probabile este, ca şi în triangulaţie, operaţia de bază fără de care nu pot fi calculate coordonatele plane ale punctelor geodezice. Principiul compensării are la bază o relaţie

care leagă variaţiile laturilor supuse compensării de variaţia unghiului dedus din ele. În consecinţă, condiţiile geometrice impuse de o anumită formă de reţea sînt exprimate iniţial în funcţie de unghiurile ce intră în componenţa reţelei. Numărul acestor condiţii este mult mai mic comparativ cu numărul necesar în reţelele de triangulaţie, mai uşor de stabilit şi de scris.

Dacă reţeaua de puncte geodezice de forma unui poligon cu punct central (fig. XV.22) trebuie verificată prin metoda trilateraţiei, deci în locul unghiurilor sînt măsurate laturile, numărul condiţiilor geometrice se stabileşte cu relaţia

$$r = l - 2p + 3 \tag{3.18}$$

unde: l este numărul laturilor măsurate; p numărul de puncte geodezice.

Înlocuind se obţine:

$$r = 10 - 2 \cdot 6 + 3 = 1$$

Această condiţie se referă la unghiurile din punctul P_6 şi se numeşte *condiţie de poligon cu punct central* şi are forma:

$$(11) + (12) + (13) + (14) + (15) = 400^g \tag{3.19}$$

De regulă, pentru o formă simplă de reţea de trilateraţie se scrie o condiţie geometrică: condiţie de patrulater, de unghi fix etc.

Folosind corecţiile unghiurilor din punctul P_6, condiţia (3.19) devine

$$V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + \omega = 0 \tag{3.20}$$

unde: $\omega = 11 + 12 + 13 + 14 + 15 - 400$

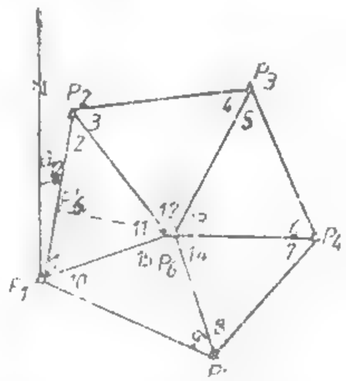


Fig. XV.22. Reţea de trilateraţie.

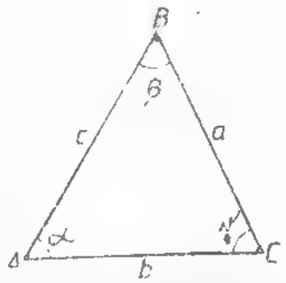


Fig. XV.23. Elementele unui triunghi.

Unghiurile $11, 12, \ldots, 15$ sînt calculate din laturi, folosind relaţia generală:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}, \quad 2p = a + b + c \tag{3.21}$$

Notaţiile din formula (3.21) corespund cu cele dintr-un triunghi general (fig. XV.23)

Prin logaritmare şi diferenţiere din (3.21) se obţine o legătură între corecţiunea unghiului α şi corecţiile laturilor. Astfel

$$V_\alpha = (A \cdot l_{12}) + B \cdot l_{23} + C \cdot l_{31}\rho^{cc} \qquad (3.22)$$

unde

$$A = \frac{\sin\alpha}{4}\left(\frac{1}{c} - \frac{1}{p} - \frac{a}{p} - \frac{1}{b} - \frac{1}{p} - \frac{1}{c}\right)$$

$$B = \frac{\sin\alpha}{4}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{c} - \frac{1}{a} - \frac{1}{p} - \frac{1}{c} - \frac{1}{f} - \frac{1}{c}\right)$$

$$C = \frac{\sin\alpha}{4}\left(\frac{1}{c} - \frac{1}{f} - \frac{1}{f} - \frac{1}{a} - \frac{1}{c} - \frac{1}{f} - \frac{1}{c}\right) \qquad (3.23)$$

Considerînd un sens de scriere (de la stînga la dreapta) corecţiunile din (3.20) se scriu în funcţie de corecţiile laturilor astfel

$$V_{12} = (A_1 V_{12} + B_1 V_{26} + C_1 V_{16})\rho^{cc}$$
$$V_{12} = (A_2 V_{23} + B_2 V_{36} + C_2 V_{26})\rho^{cc}$$
$$V_{13} = (A_3 V_{31} + B_3 V_{16} + C_3 V_{36})\rho^{cc}$$
$$V_{14} = (A_4 V_{45} + B_4 V_{56} + C_4 V_{46})\rho^{cc} \qquad (3.24)$$
$$V_{15} = (A_5 V_{51} + B_5 V_{16} + C_5 V_{56})\rho^{cc}$$

Din aceste egalităţile (3.24) şi (3.20) rezultă

$$A_1 V_{12} + A_2 V_{23} + A_3 V_{31} + A_4 V_{45} + A_5 V_{51} + (B_1 + C_2) V_{26}$$
$$+ (B_2 + C_3) V_{36} + (B_3 + C_4) V_{46} + (B_4 + C_5) V_{56} + (B_5 + C_1) V_{16}$$
$$+ \frac{\omega}{\rho^{cc}} = 0 \qquad (3.25)$$

Ecuaţia în corecţiile laturilor (3.25) se rezolvă conform teoriei măsurătorilor condiţionate.

3.3.2. CALCULUL COORDONATELOR ÎN REŢELELE DE TRILATERAŢIE

În calculul coordonatelor punctelor se utilizează laturile compensate. Pentru calculul coordonatelor punctului P_6 (fig. XV.22) avem coordonatele punctelor P_1, P_2 şi laturile de valori probabile P_1P_6 şi P_2P_6. Se coboară o perpendiculară din P_6 pe P_1P_2 în P_6'. Utilizînd traseul $P_1P_6'P_6$ rezultă:

$$x_6 = x_1 + P_1P_6'\cos\theta_{12} + P_6'P_6\sin\theta_{12}$$
$$y_6 = y_1 + P_1P_6'\sin\theta_{12} - P_6'P_6\cos\theta_{12} \qquad (3.26)$$

unde:

$$P_1P_6' = \frac{P_1P_6'^2 + P_1P_6'^2 - P_1P_2}{2P_1P_2}$$

$$P_6'P_6 = \sqrt{P_1P_6^2 - (P_1P_6')^2} \qquad (3.27)$$

3.3.3. DEZVOLTAREA REŢELELOR DE TRILATERAŢIE

Cele mai simple metode de determinare a coordonatelor unor puncte noi folosind distanţe măsurate sînt: metoda intersecţiei liniare simplă şi metoda radierii.

Metoda intersecţiei liniare simplă. Este similară cu metoda intersecţiei unghiulare, cu deosebirea că în locul unghiurilor sînt măsurate distanţe.

Dacă sînt cunoscute coordonatele punctelor P_1, P_2 şi distanţele l de la aceste puncte la punctul P_0 (fig. XV.24), pot fi determinate coordonatele punctului P_0. Pentru aceasta sînt utilizabile formulele (3.26) şi (3.27).

Pentru verificarea coordonatelor este necesar un al treilea punct de coordonate cunoscute P_3 şi distanţa măsurată de la P_3 la P_0. Se procedează în continuare ca în cazul intersecţiei unghiulare.

Metoda radierii. Utilizează unghiuri şi distanţe (de orice mărime) măsurate.

Faţă de o direcţie fixă P_1P_2 (fig. XV.25), poziţia punctului P_0 este bine determinată măsurînd unghiul α şi distanţa P_1P_0.

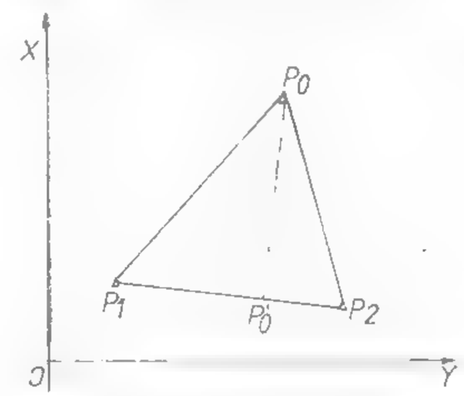


Fig. XV.24. Intersecţia liniară simplă.

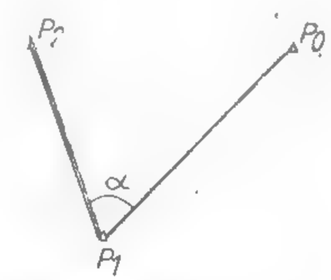


Fig. XV.25. Metoda radierii.

Măsurătorile de distanţe pe baza propagării undelor au o precizie mare, se impune ca şi unghiurile să fie măsurate cu precizie de asemenea mare. În cazul laturilor mai lungi pentru control şi creşterea preciziei se măsoară din punctul P_2 unghiul β şi distanţa P_2P_0, coordonatele definitive obţinîndu-se din media aritmetică a celor două radieri.

3.4. POLIGONOMETRIA

Poligonometria constituie o metodă, ca și triangulația și trilateração, de determinare a punctelor geodezice de bază care formează rețelele geodezice de sprijin.

Cu ajutorul acestei metode se determină coordonatele plane ale unui șir de puncte dispuse sub forma unei linii poligonale, folosind unghiurile măsurate în aceste puncte și laturile măsurate dintre ele.

Metoda poligonometriei poate fi folosită în dublu scop și anume

pentru determinarea punctelor geodezice de sprijin al căror ordin corespunde cu ordinul punctelor geodezice determinate prin metodele triangulației și trilaterației

pentru determinarea punctelor geodezice situate în interiorul rețelelor geodezice de sprijin, cunoscute ca puncte de dezvoltare și au ordinul IV - V

Avînd în vedere particularitățile metodei, precum și condițiile de relief specifice zonelor miniere, determinarea punctelor geodezice de ordin inferior prin poligonometrie constituie o cerință practică în rezolvarea problemelor de topografie minieră

3.4.1. REALIZAREA TRASEELOR ȘI REȚELELOR POLIGONOMETRICE

Poligonometria se realizează sub forma unor trasee poligonale simple (fig. XV.26) sau sub forma unor rețele de trasee poligonale (fig. XV.27).

La realizarea traseelor și rețelelor poligonometrice se are în vedere următoarele :

1) Traseele poligonale să fie întinse. Abaterea punctelor unui traseu de la linia de legătură între punctele de capăt nu trebuie să fie mai mare de 1/3 din lungimea lui

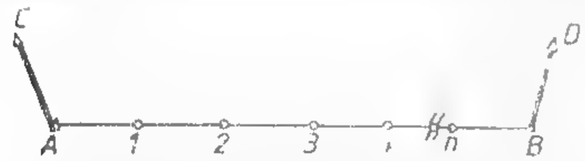


Fig. XV.26. Traseu poligonometric simplu.

2) Unghiurile măsurate în punctele traseelor poligonale nu trebuie să fie mai mici de 135° sau mai mari de 225

3) Eroarea de centrare în punctele de stație nu trebuie să depășească ± 1 mm.

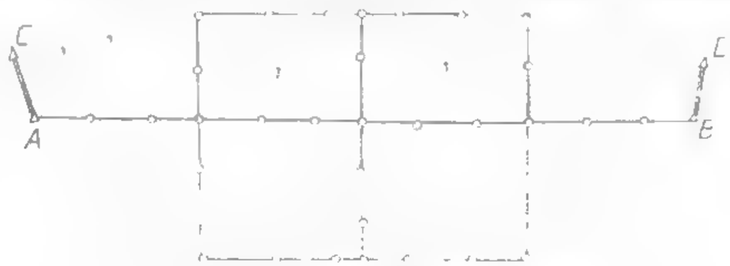


Fig. XV.27. Rețea poligonometrică.

4) Neînchiderea unghiulară nu poate depăși $6^{cc}\sqrt{n}$ (unde n este numărul unghiurilor măsurate

5) Laturile se măsoară de două ori, diferența între măsurători nu trebuie să fie mai mare de 1 : 25 000 din lungimea lor.

3.4.2. CONDIȚII DE APLICARE, AVANTAJE ȘI DEZAVANTAJE

În general, metoda poligonometriei este folosită în următoarele situații :

- cînd punctele geodezice ce trebuiesc determinate au o dispunere longitudinală ;
- cînd dezvoltarea rețelelor geodezice prin metodele triangulației și trilaterației nu poate fi executată ;
- cînd se cere transmiterea coordonatelor dintr-un punct cunoscut într-un punct nou.

Metoda poligonometriei, în comparație cu metodele triangulației și trilaterației, prezintă o serie de avantaje și anume :

- costul lucrărilor este mai redus, datorită numărului redus de puncte pe aceeași suprafață și al randamentului ridicat ;
- este mai flexibilă, pretîndu-se mai mult la condiții de relief ;

Dezavantajele metodei poligonometriei se referă la :

- posibilități reduse de control pentru verificarea măsurătorilor ;
- posibilitățile de cumulare a erorilor pe orientări sînt mai mari.

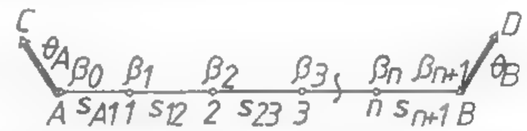
3.4.3. REZOLVAREA TRASEELOR ȘI REȚELELOR POLIGONOMETRICE

Rezolvarea traseelor și rețelelor poligononometrice presupune mai întîi compensarea măsurătorilor și după aceea determinarea coordonatelor punctelor.

Metoda cu aplicare largă în compensare este *metoda măsurătorilor condiționate*, datorită volumului mai redus de calcul în comparație cu metoda măsurătorilor indirecte.

Se consideră un traseu poligonometric (fig. XV.28) în care sînt date coordonatele punctelor A și B și orientările θ_A și θ_B, sînt măsurate unghiurile β și distanțele s.

Fig. XV.28. Elementele unui traseu simplu poligonometric.



Avînd în vedere că sînt măsurate în plus trei mărimi (unghiurile β_n, β_{n+1} și distanța s_{nB}) vor exista 3 condiții geometrice care conduc la ecuațiile :

$$[V_\beta] + W_\beta = 0$$

$$[V_s \cos\theta] - \frac{1}{\rho''}[(y_B - y)\, V_\beta] + W_x = 0 \qquad (3.28)$$

$$[V_s \sin\theta] + \frac{1}{\rho''}[(x_B - x)\, V_B] + W_y = 0$$

unde : V_β sînt corecțiile unghiurilor ; V_s — corecțiile distanțelor ; x, y - coordonatele punctelor traseului poligonometric ; W_x, W_y — neînchiderile pe coordonatele punctului B.

Sistemul de ecuaţii (3.28) se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate, în care scop se consideră :

$$\text{ponderile unghiurilor } p_\beta = \frac{1}{m_\beta^2}$$

$$\text{ponderile distanţelor } p_s = \frac{1}{m_s^2} \qquad (3.29)$$

unde m_β şi m_s sînt erorile medii pătratice de măsurare a unghiurilor, respectiv distanţelor.

Ponderile din (3.29) pot fi scrise şi altfel :

$$p_\beta = \frac{1}{m_\beta^2}; \qquad p_s = \frac{1}{(f\sqrt{s})^2}$$

sau :

$$p_\beta = 1; \qquad p_s = \frac{\mu^2}{s}; \qquad \left(\mu = \frac{m_\beta}{f}\right) \qquad (3.30)$$

Cu ponderile din (3.30) şi cu coeficienţii corecţiilor din (3.28) notaţi literar cu a, b, c se obţine sistemul de ecuaţii normale

$$\left[\frac{aa}{p}\right]k_1 + \left[\frac{ab}{p}\right]k_2 + \left[\frac{ac}{p}\right]k_3 + W_\beta = 0$$

$$\left[\frac{bb}{p}\right]k_2 + \left[\frac{bc}{p}\right]k_3 + W_x = 0 \qquad (3.31)$$

$$\left[\frac{cc}{p}\right]k_3 + W_y = 0$$

Din sistemul (3.31) rezultă corelatele k_1, k_2, k_3 cu care se determină corecţiile mărimilor măsurate. Astfel

$$V_i = \frac{1}{p_i}(a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3), \quad i = 1, 2, \ldots N \qquad (3.32)$$

unde N este numărul total al unghiurilor şi laturilor măsurate.

Se calculează valorile compensate ale unghiurilor şi distanţele lor şi în cele din urmă cu acestea se calculează coordonatele punctelor poligonometrice.

În cazul reţelelor poligonometrice important, în primul rînd, este stabilirea numărului de condiţii geometrice care, ca natură sînt, ca şi în cazul precedent, condiţii de unghiuri şi de coordonate.

Se folosesc în acest scop relaţiile :

— condiţii de unghiuri : $r_1 = (P + R - 1) + Q$

— condiţii de coordonate : $r_2 = 2(P + R - 1)$ (3.33)

în care : P este numărul poligoanelor închise ; R — numărul de puncte cunoscute în care există şi orientări cunoscute ; Q — numărul punctelor nodale cu orientări cunoscute.

De exemplu, considerînd o reţea poligonometrică (fig. XV.29) cu :

$$P = 1; \; R = 4; \; Q = 1$$

se obţine

$$r_1 = 1 + 4 - 1 + 1 = 5$$

$$r_2 = 2(1 + 4 - 1) = 8$$

Fig. XV.29. Exemplu de reţea poligonometrică.

În scrierea condiţiilor geometrice se aleg trasee care conţin cît mai puţine necunoscute. Astfel :

— pentru condiţiile de unghiuri trasee le : AaB, CaB, Cb, Db, Aab ;

— pentru condiţiile de coordonate trasee le AaB, CbD, AaC, BaD.

Corespunzător acestor condiţii geometrice se scriu ecuaţii de erori de forma celor din (3.28), iar sistemul de ecuaţii format se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate obţinîndu-se corecţiile mărimilor măsurate.

În continuare se compensează unghiurile şi distanţele, iar în final se calculează coordonatele punctelor.

Pentru punctele nodale trebuie să rezulte aceleaşi coordonate, indiferent de drumul parcurs pentru calculul acestora.

3.5. NIVELMENT

3.5.1. SUPRAFAŢA DE NIVEL ZERO. SUPRAFAŢA DE NIVEL. ALTITUDINI.

Altitudinile (cotele) punctelor de pe suprafaţa Pămîntului se determină faţă de suprafaţa de nivel zero, respectiv faţă de suprafaţa care coincide cu aceea a mărimilor deschise şi oceanelor în starea lor de echilibru prelungită pe sub continente.

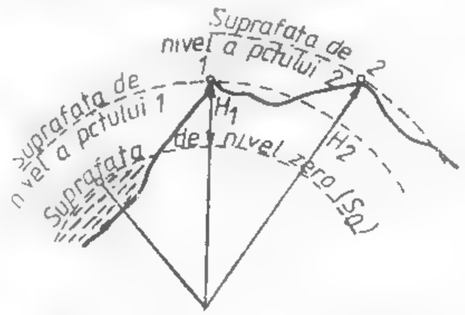


Fig. XV.30. Cotele punctelor în cazul suprafeţei sferice de nivel.

Matematic, nivelul de echilibru este materializat prin puncte fixe aflate pe malul oceanelor şi mărilor. La malul Mării Negre există un asemenea punct numit *zero fundamental*. Pornind de la acest punct se determină cotele tuturor punctelor situate în ţara noastră.

Suprafaţa care este normală în fiecare punct al ei la direcţia verticalei (la direcţia forţei gravitaţiei) se numeşte *suprafaţă de nivel*.

Se numeşte *altitudine* sau *cotă absolută* a unui punct topografic, distanţa în metri, pe verticală a punctului, cuprinsă între suprafaţa de nivel zero şi suprafaţa de nivel ce trece prin punctul considerat (cotele H_1 şi H_2 din fig. XV.30).

Înălţimile raportate la o suprafaţă de nivel se numesc *relative*.

Suprafeţele de nivel pot fi considerate sferice în cazul nivelmetrului desfăşurat pe distanţe de ordinul kilometrilor sau plane atunci cînd se desfăşoară pe întinderi mici.

3.5.2. CORECŢII DE NIVELMENT

În cazul suprafeţelor de nivel sferice, asupra observaţiilor de nivelment se aplică corecţia C_t ce rezultă :

$$C_t = C_s - C_r$$

unde : C_s este corecţia de sfericitate ; C_r — corecţia datorită refracţiei atmosferice.

Ţinînd în vedere că :

$$C_S = \frac{D^2}{2R} \quad \text{şi} \quad C_R = K\,\frac{D^2}{2R}$$

rezultă :

$$C_t = (1 - k)\,\frac{D^2}{2R}$$

unde : D este distanţa între punctele de nivelment ; R — raza Pămîntului egală aproximativ cu 6 379 km ; K — coeficientul de refracţie atmosferică egală cu 0,13.

3.5.3. FELURILE NIVELMENTULUI

În funcţie de instrumentul şi metoda utilizată, se deosebesc în principal următoarele feluri de nivelment : *geometric* şi *trigonometric*.

Indiferent de felul nivelmentului, problema se pune în scopul obţinerii pe bază de măsurători a diferenţei de înălţime (diferenţă de nivel) între două puncte cu ajutorul căreia să rezulte

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

Nivelmentul geometric se bazează pe principiul vizei orizontale a instrumentului.

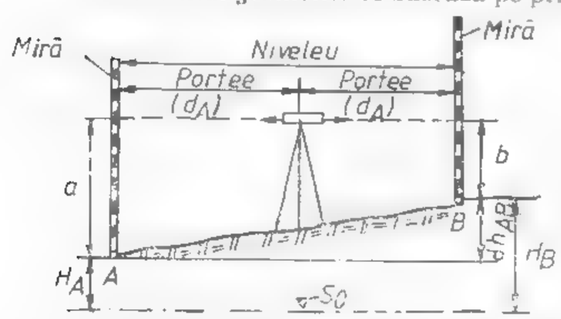


Fig. XV.31. Nivelment geometric.

Diferenţa de nivel h_{AB} dintre două puncte A şi B se obţine din diferenţa citirilor pe mire ţinute vertical în punctele A şi B, după ce s-a realizat orizontalitatea axei de vizare a instrumentului de nivelment (fig. XV.31). Distanţa între punctele A şi B nu trebuie să fie mai mare de 300 m.

Nivelmentul geometric este cel mai precis nivelment.

Nivelmentul trigonometric. Diferenţa de nivel dintre două puncte se determină cu ajutorul unghiului vertical (φ) măsurat cu teodolitul instalat într-unul din puncte.

Pe o mică gradată situată vertical în celălalt punct se poate citi la înălţimea instrumentului, în cazul distanţelor mici obţinînd :

$$h_{12} = D\,\mathrm{tg}\varphi$$

sau la baza semnalului propriu-zis al balizelor, piramidelor etc, în cazul distanţelor mari obţinînd :

$$h_{12} = D\,\mathrm{tg}\varphi + i - L + (1 - K)\,\frac{D^2}{2R}$$

unde : i este înălţimea aparatului, iar L — înălţimea semnalului.

4. LUCRĂRI DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Ansamblul de lucrări aferente prospectării, explorării, deschiderii, pregătirii şi exploatării zăcămintelor de substanţe minerale utile este condus din punct de vedere tehnico-ingineresc pe baza lucrărilor topografice miniere. Totalitatea acestor lucrări topografice, în cadrul unui bazin minier, trebuie să aibă un caracter unitar atît la suprarăţă cît şi în subteran, în întreaga desfăşurare a activităţii miniere.

Lucrările topografice miniere sînt diferenţiate în lucrări *planimetrice* şi lucrări *nivelitice*, în scopul constituirii osaturii de sprijin, şi dependent de aceasta *ridicarea topografică, proiectarea şi conducerea în execuţie a lucrărilor miniere, urmărirea efectelor fenomenelor de echilibrare a rocilor şi deformarea suprafeţei sub influenţa paţiului subteran exploatat* etc.

4.1. PLANIMETRIE SUBTERANĂ

Constă din lucrări topografice de determinare a coordonatelor (x, y) pentru punctele reţelei topografice subterane. În acest sens la suprafaţa bazei de [illegible] este constituită o reţea geodezică de sprijin formată din puncte de ordinul IV şi V şi o serie de puncte noi, încadrate în apropierea gurilor de acces în subteran.

La adîncimile de coasta, punctele geodezice de sprijin nu trebuie să fie la o distanţă mai mare de 150 m, iar faţă de puţurile verticale la mai mult de 30 m şi aceasta pentru a permite, după caz, transmiterea sistemului planimetric de coordonate în subteran.

4.1.1. TRANSMITERI DE COORDONATE ŞI ORIENTĂRI ÎN SUBTERAN

Sistemul planimetric poate fi considerat transmis în subteran prin lucrări miniere atunci cînd în subteran au fost materializate cel puţin două puncte topografice la care s-au determinat coordonatele primului punct şi orientarea dintre cele două puncte. Ale-

gerea metodelor pentru transmiterea de coordonate şi orientări se face funcţie de tipul de lucrare minieră de acces în subteran. În general, sînt cunoscute mai multe posibilităţi, dintre care cele mai importante sînt : legătura prin galerie de coastă (plan înclinat, puţ înclinat etc.); legătura prin două puţuri verticale de mină; legătura pe un singur puţ vertical de mină.

4.1.1.1. Legătura pe galeria de coastă

Acest gen de legătură necesită la suprafaţă cunoaşterea unui punct A, dat prin coordonatele sale planimetrice (x_A, y_A) şi o orientare de pornire θ_0, sprijinită pe acest ta. Metoda de legătură utilizată este *metoda radierii simple* (fig. XV.32), care impune ca elemente măsurate : unghiul orizontal β_0 şi distanţa orizontală s_1

Calculul orientării : $\theta_{A1} = \theta_0 + \beta_0$ (4.1)

Calculul coordonatelor punctului radiat $\odot_1$ $\begin{cases} x_1 = x_A + s_1 \cos\theta_1 \\ y_1 = y_A + s_1 \sin\theta_1 \end{cases}$ (4.2)

Ca atare, sistemul este bine stabilit în subteran prin orientare

$$\theta_{1A} = \theta_{A1} + 200^g \tag{4.3}$$

şi coordonatele corespunzătoare punctului subteran $\odot_1$ $(x_1 y_1)$.

În subteran sînt constituite în continuarea radierii diferite tipuri de drumuri planimetrice tratate corespunzător (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.2) (§ 4.1.3.4) sau în alte condiţii (§ 4.1.3.5) şi (§ 4.1.3.6).

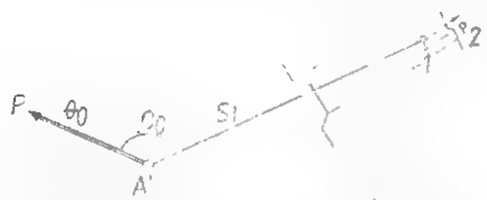


Fig. XV.32. Legătura prin galerie de coastă.

Transmiterea erorilor punctuale şi pe orientări este corespunzătoare metodei radierii simple (§ 4.1.1.1.).

Abaterea pe orientare $m_{\theta_{A1}}$ a laturii nou determinate θ_{A1} este dată de relaţia :

$$m_{\theta_{A1}} = \pm \sqrt{m_{\theta_0}^2 + m_{\beta_0}^2} \tag{4.4}$$

în care : m_{θ_0} este eroarea orientării iniţiale luată din protocolul triangulaţiei, sau expeditiv :

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \tag{4.5}$$

unde : $m_{x,y}$ este eroarea de încadrare a punctului vizat (max $\pm$ 15 cm) ; D lungimea vizei (de la punctul A la P) ; m_{β_0} — eroarea de măsurare a unghiului β_0 ; poate fi luată cu bune rezultate :

$$m_{\beta_0} = (2 - 5)\, p_a \tag{4.6}$$

unde : (2—5) este coeficient de omogenizare, 2 pentru aparate mai puţin precise unde $p_a = \pm 50^{cc}$ şi 5 pentru $p_a = \pm 2^{cc}$; p_a — precizia aparatului

Abaterile pentru coordonate vor fi calculate cu relaţiile :

$$m_{x_1} = \pm \sqrt{m_{x_A}^2 + f^2 \Delta x_{A1}^2 + \Delta y_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta A1}}{\rho^{cc}}\right)^2}$$

şi (4.7)

$$m_{y_1} = \pm \sqrt{m_{y_A}^2 + f^2 \Delta y_{A1}^2 + \Delta x_{A1}^2 \left(\frac{m_{\theta A1}}{\rho^{cc}}\right)^2}$$

unde : m_{x_A}, m_{y_A} sînt erorile de încadrare a punctului A, care pot fi luate cu aproximaţie

$$m_x = m_y = \pm \frac{15 \text{ cm}}{2} \tag{4.8}$$

f — $\frac{1}{2000 - 5000}$ — eroarea unitară de măsurare a distanţelor

- pentru suprafaţă : $\frac{1}{5000}$
- pentru subteran : $\frac{1}{2000}$ (4.9)

Δx_{A1} şi Δy_{A1} — sînt relativele pe x şi respectiv pe y de la A pînă la punctul încadrat 1

În mod corespunzător se va face studiul pentru drumurile în continuare (§ 4.1.3.1) (§ 4.1.3.4).

4.1.1.2. Legătura pe două puţuri verticale de mină

În apropierea fiecărui puţ există din reţeaua de apropiere, cel puţin un punct şi o orientare de sprijin. În fiecare puţ se lestează cîte un fir (fig. XV.33) a căror coordonate în sistemul general al minei se determină cît mai precis prin metoda radierii simple (§ 4.1.1.1) coordonate care datorită proiectării rămîn aceleaşi şi în subteran.

La nivelul orizontului subteran se constituie, între cele două puţuri, poligonala minieră (§ 4.1.2.3).

Transmiterea erorilor pe coordonate se face urmînd propagarea acestora de la punctele încadrate la suprafaţă prin radiere simplă (§ 4.1.1.1), lucrări de proiectare (§ 4.1.2) şi poligonaţie minieră (§ 4.1.3.3.)

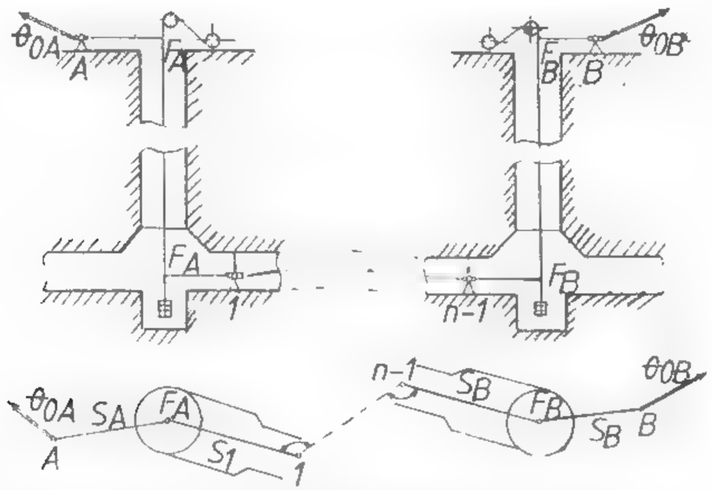


Fig. XV.33. Legătura prin două puţuri verticale de mină în subteran.

4.1.1.3. Legătura pe un singur puţ vertical de mină

Se realizează prin lestarea, în secţiunea puţului, a două fire metalice cît mai îndepărtate între ele. Punctul încadrat la suprafaţă şi cele două fire lestate vor forma un triunghi de legătură (fig. XV.34).

Triunghiul de legătură la suprafaţă. În apropierea fiecărui puţ există cel puţin un punct încadrat din reţeaua de apropiere, necesar transmiterii de coordonate şi orientări.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ şi orientarea iniţială θ_0.

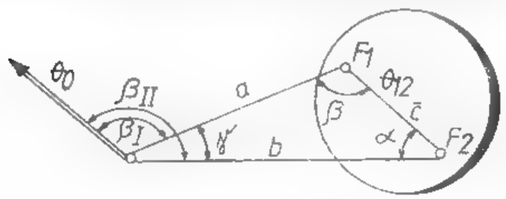


Fig. XV.34. Joncţiunea la suprafaţă prin triunghi de legătură.

Elementele măsurate:

- unghiurile β_I şi β_{II};
- distanţele a, b şi c — laturile triunghiului.

Se calculează coordonatele celor două fire F_1 şi F_2 prin metoda radierii simple § 4.1.1.1.), (§4. 2)

Orientarea dintre fire θ_{12} nu se va determina niciodată din coordonatele celor două fire, ci se va calcula prin însumarea la orientarea iniţială a unghiurilor măsurate şi calculate.

Se calculează:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I \tag{4.10}$$

Funcţie de forma triunghiului de legătură se aplică una din relaţiile trigonometrice cunoscute, astfel:

- pentru triunghi alungit (γ foarte mic; α tinde către 200^g şi totodată β foarte mic, sau invers) se folosesc relaţiile

$$\sin\alpha' = a\frac{\sin\gamma}{c}; \quad \sin\beta' = b\frac{\sin\gamma}{c} \tag{4.11}$$

pentru triunghi alungit isoscel (γ foarte mic; α şi β tind către unghi drept) se folosesc relaţiile:

$$\cos\alpha' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \quad \cos\beta' = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \tag{4.12}$$

pentru triunghi isoscel ce tinde către echilateral, se folosesc relaţiile:

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha'}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \operatorname{tg}\frac{\beta'}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}} \tag{4.13}$$

în care: $p = \dfrac{a+b+c}{2}$

rezultînd astfel: α' şi β' unghiuri calculate din elemente măsurate.

Se compensează unghiurile în triunghi:

$$\alpha' + \beta' + \gamma = 200^g \pm W \tag{4.14}$$

Unghiurile definitive vor fi:

$$\alpha = \alpha' \pm \frac{W}{2}; \quad \beta = \beta' \pm \frac{W}{2} \tag{4.15}$$

Se calculează orientarea dintre fire:

$$\theta_{12} = \theta_0 + \beta_I - \alpha + 200^g = \theta_0 + \beta_I + \beta \tag{4.16}$$

orientare ce rămîne aceeaşi şi pentru subteran.

Triunghiul de legătură din subteran. Elementele cunoscute sînt cele determinate la zi şi anume (fig. XV.35):

- perechile de coordonate pentru firele lestate $F_1(x_{F_1}, y_{F_1})$ şi $F_2(x_{F_2}, y_{F_2})$;
- orientarea dintre fire θ_{12}.

Elementele măsurate identic ca la triunghiul de la suprafaţă:

- unghiurile β_I şi β_{II};
- distanţele a, b şi c — laturile triunghiului.

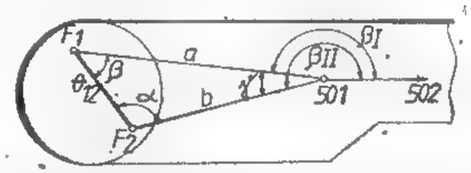


Fig. XV.35. Joncţiunea în subteran prin triunghi de legătură.

Se rezolvă triunghiul de legătură, astfel:

$$\gamma = \beta_{II} - \beta_I$$

Se calculează unghiurile α şi β după forma triunghiului cu relaţiile corespunzătoare (4.11), (4.12) sau (4.13) şi se compensează după (4.14), (4.15).

Se calculează orientările către punctul subteran $\overset{\odot}{|}$ 501

$$\theta_{F_1, 501} = \theta_{12} - \beta; \quad \theta_{F_2, 501} = \theta_{12} + \alpha + 200^g \tag{4.17}$$

și orientarea laturii $\theta_{501,502}$

$$\theta_{501,502} = \theta_{12} - \beta + \beta_I + 200^g = \theta_{12} + \alpha \tag{4.18}$$

Orientări cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele punctului $\overset{\odot}{|}\,501$.

— din coordonatele firului F_1 rezultă:

$$\overset{\odot}{|}\,501 \begin{cases} x_{501}^{F_1} = x_{F_1} + a\cos\theta_{F_1,501} \\ y_{501}^{F_1} = y_{F_1} + a\sin\theta_{F_1,501} \end{cases} \tag{4.19}$$

— din coordonatele firului F_2 rezultă

$$\overset{\odot}{|}\,501 \begin{cases} x_{501}^{F_2} = x_{F_2} - b\cos\theta_{F_2,501} \\ y_{501}^{F_2} = y_{F_2} + b\sin\theta_{F_2,501} \end{cases} \tag{4.20}$$

Valorile cele mai probabile vor fi mediile aritmetice ale celor două determinări:

$$x_{501} = \frac{x_{501}^{F_1} + x_{501}^{F_2}}{2}; \quad y_{501} = \frac{y_{501}^{F_1} + y_{501}^{F_2}}{2} \tag{4.21}$$

Legatura între rețeaua topografică de la suprafață și cele două fire lestate în secțiunea puțului, cînd condițiile permit, poate fi realizată și prin intermediul patrulaterului de legătură. Astfel, la suprafață sînt cunoscute fie un punct încadrat și o orientare și se mai alege un punct ajutător fie două puncte încadrate în rețeaua geodezică.

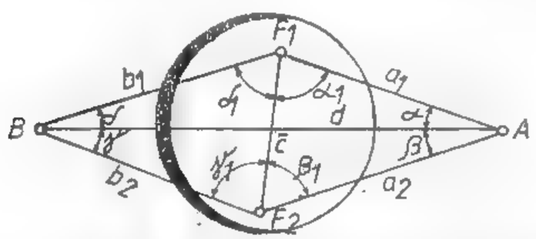


Fig. XV.36. Patrulater bilateral la suprafață.

Ca formă, patrulaterul poate fi bilateral (fig. XV.36), cînd cele două puncte se găsesc lateral față de firele lestate, sau unilateral (fig. XV.37), cînd cele două puncte se găsesc de o singură parte a firelor.

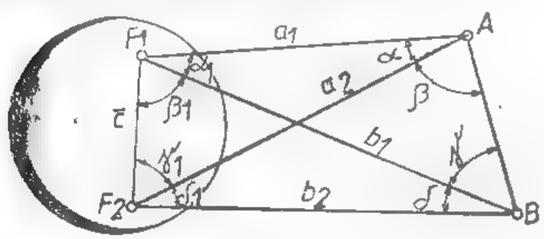


Fig. XV.37. Patrulater unilateral la suprafață.

Elementele cunoscute sînt: punctul A cu coordonatele plane (x_A, y_A) și orientarea θ_{AB}.

Elementele măsurate:

unghiurile α, β, γ, δ;

toate laturile posibile a_1, a_2, b_1, b_2, c, d.

Se calculează prin radiere simplă coordonatele punctului ajutător și coordonatele firelor F_1 și F_2 lestate în secțiunea puțului.

Se calculează mărimea unghiurilor cu vîrful în firele lestate, fie prin aplicarea relațiilor corespunzătoare de la triunghiul de legătură (4.11) (4.16), utilizînd laturile măsurate și unghiurile, fie făcîndu-se apel la relațiile (4.22) — (4.25) utilizînd numai unghiurile măsurate

pentru patrulaterul bilateral:

$$\operatorname{ctg}\alpha_1' = \frac{\sin\delta\sin(\beta+\gamma)}{\sin\gamma\sin(\alpha+\delta)\sin(\alpha+\beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha+\beta)$$

$$\operatorname{ctg}\beta_1' = \frac{\sin\gamma\sin(\alpha+\delta)}{\sin\delta\sin(\beta+\gamma)\sin(\alpha+\beta)} - \operatorname{ctg}(\alpha+\beta) \tag{4.22}$$

$$\operatorname{ctg}\gamma_1' = \frac{\sin\beta\sin(\alpha+\delta)}{\sin\alpha\sin(\beta+\gamma)\sin(\gamma+\delta)} - \operatorname{ctg}(\gamma+\delta)$$

$$\operatorname{ctg}\delta_1' = \frac{\sin\alpha\sin(\beta+\gamma)}{\sin\beta\sin(\alpha+\delta)\sin(\gamma+\delta)} - \operatorname{ctg}(\gamma+\delta)$$

compensarea unghiurilor constînd în:

$$\alpha_1' + \beta_1' + \gamma_1' + \delta_1' = 400 \pm W$$

$$\alpha_1 = \alpha_1' \mp \frac{W}{4}; \quad \beta_1 = \beta_1' \mp \frac{W}{4}; \tag{4.23}$$

$$\gamma_1 = \gamma_1' \mp \frac{W}{4}; \quad \delta_1 = \delta_1' \mp \frac{W}{4}$$

— pentru patrulaterul unilateral:

$$\alpha_1 = 200^g - (\alpha+\beta+\gamma); \quad \delta_1 = 200^g - (\beta+\gamma+\delta)$$

$$\operatorname{ctg}\beta_1' = \frac{\sin\delta_1\sin(\alpha+\beta)}{\sin\delta\sin\alpha_1\sin\beta} - \operatorname{ctg}\delta; \quad \operatorname{ctg}\gamma_1' = \frac{\sin\alpha_1\sin(\gamma+\delta)}{\sin\gamma\sin\delta_1\sin\alpha} - \operatorname{ctg}\alpha \tag{4.24}$$

iar compensarea unghiurilor constînd în:

$$\beta_1' + \gamma_1' = \beta + \gamma \mp W;$$

$$\beta_1 = \beta_1' \pm \frac{W}{2}; \quad \gamma_2 = \gamma_2' \pm \frac{W}{2} \tag{4.25}$$

Cu ajutorul acestora şi a unghiurilor măsurate se calculează orientarea dintre fire, prin însumarea în mod corespunzător la orientarea cunoscută θ_{AB}.

Exemplu pentru patrulaterul bilateral :

$$\theta_{12} = \theta_{AB} + \alpha + \alpha_1 + 200^g \qquad (4.26)$$

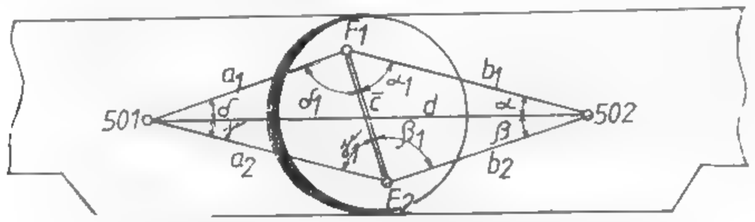


Fig. XV.38. Patrulater bilateral subteran.

sau pentru patrulaterul unilateral :

$$\theta_{12} = Q_{AB} + \beta + \alpha + \alpha_1 + 200^g \qquad (4.27)$$

În cazul legăturii în subteran se întîlnesc ambele cazuri de patrulater, atît bilateral (fig. XV.38) cît şi unilateral (fig. XV.39).

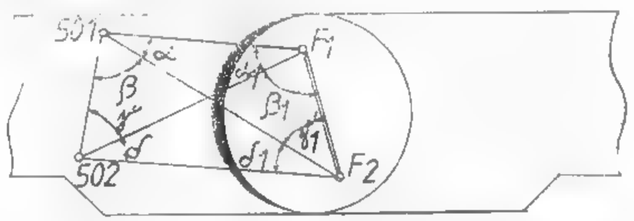


Fig. XV.39. Patrulater unilateral subteran.

Ordinea operaţiilor se schimbă, deoarece se va rezolva mai întîi patrulaterul, rezultînd orientările, după care se calculează coordonatele punctelor din coordonatele firelor lestate.

Relaţiile de calcul fiind asemănătoare, vor fi adaptate situaţiei

4.1.2. PROIECTAREA COORDONATELOR ŞI ORIENTĂRII PRIN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Pentru a transmite sistemul de referinţă de la suprafaţă în subteranul minelor, este suficient să se transmită coordonatele unui punct topografic minier şi orientarea unei laturi sprijinite pe acest punct. În raport cu condiţiile şi aparatura existentă pentru proiectarea de coordonate şi orientări, sînt utilizate două metode şi anume : *metoda mecanică* şi metoda *optică* iar pentru identificarea orientării în subteran sînt folosite : metoda *giroscopică* şi metoda *magnetică*, utilizate de regulă în combinaţie cu metoda mecanică de proiectare de coordonate.

4.1.2.1. Metoda mecanică de proiectare a coordonatelor

În secţiunea liberă a unui puţ vertical de mină — degrevat temporar de transport şi aeraj (fig. XV.40) — se lansează un fir metalic *1* ce se găseşte depozitat pe un tambur cu troliu *2* ghidat de un scripete *3* şi un reper sub formă de coadă de rîndunică *4* — ambele aşezate în turnul puţului. Firul este lestat cu o greutate constituită dintr-un taler *5* şi greutăţi calibrate *6*, ansamblul cufundat într-un recipient avînd apă, rumeguş şi ulei.

Firul metalic este de oţel din sîrmă feroasă sau alamă oţeloasă, rezistent la tracţiune şi îndoire.

Aşa cum s-a arătat, poziţia planimetrică a firului este bine determinată la suprafaţă prin metoda radierii simple.

Datorită lungimii mari a firului (înălţimea puţului) firul va executa o serie de oscilaţii

Poziţia de echilibru va fi identificată prin efectuarea de observaţii pe riglele unui dispozitiv *7*. Cele două rigle se găsesc aproximativ perpendiculare şi sînt situate pe o coroană. O riglă este aşezată perpendicular pe linia de viză a teodolitului plasat în punctul ⊙ *501* (fig. XV.41), iar cealaltă riglă va fi observată în oglindă, tot cu ajutorul teodolitului. Firul se lasă să oscileze liber, observînd pe fiecare riglă cîte trei elongaţii maxime consecutive (M_1, M_2, M_3 şi N_1, N_2, N_3). Poziţia medie pe fiecare riglă va fi determinată expeditiv :

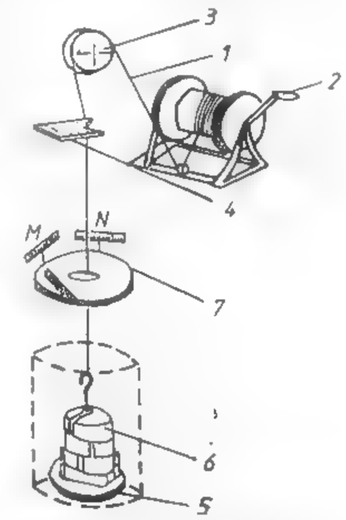


Fig. XV.40. Instalaţia mecanică de proiectare a coordonatelor pe puţul vertical de mină.

- pe rigla M : $$M_0 = \frac{M_1 + 2M_2 + M_3}{4} \qquad (4.26)$$

pe riglă N : $$N_0 = \frac{N_1 + 2N_2 + N_3}{4} \qquad (4.27)$$

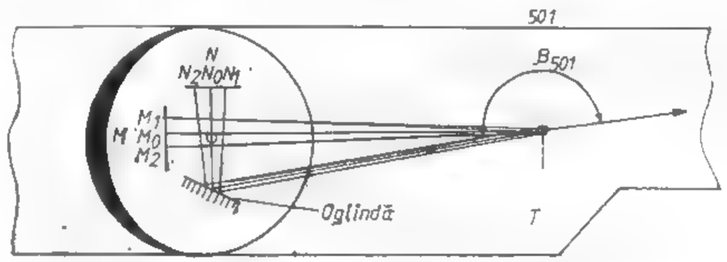


Fig. XV.41. Stabilirea poziţiei de echilibru a firului lestat.

Cu ajutorul unei prisme de centrare, firul va fi poziţionat corespunzător citirilor M_0 şi N_0, poziţie faţă de care vor fi efectuate măsurătorile de legătură cu punctele topografice subterane.

Pentru transmiterea unei orientări pe un singur puţ de mină, operaţiile descrise anterior vor fi aplicate pentru două fire (F_1 şi F_2), legătura topografică efectuîndu-se după (§ 4.1.1.2), (§ 4.1.1.3) şi (§ 4.1.3.3).

O metodă ce permite transmiterea simultană de coordonate şi orientări, simplificînd totodată modalitatea de legătură între reţeaua topografică de la suprafaţă cu operaţiile de proiectare şi legătura cu reţeaua topografică subterană este *metoda alinierii forţate*.

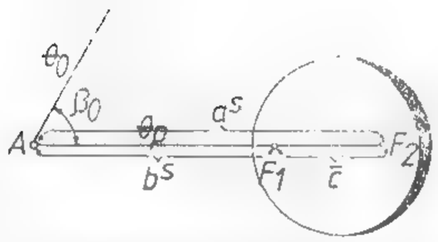


Fig. XV.42. Joncţiunea la suprafaţă prin aliniere forţată.

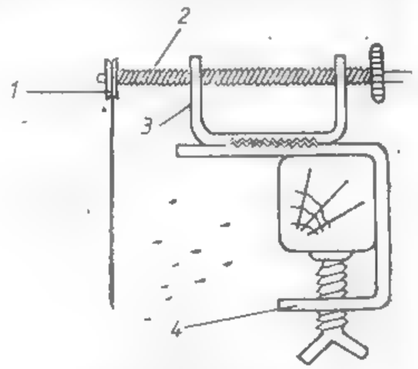


Fig. XV.43. Scripete glisant: 1—scripete; 2—şurub fără fine; 3—cameră ghidaj; 4—sistem de prindere.

La suprafaţă, aproximativ pe direcţia de transport a puţului, se încadrează un punct $A(x_A, y_A)$ cît mai îndepărtat de puţ şi cu posibilitatea de vizare a unei laturi de orientare θ_p cunoscute (fig. XV.42). Din acest punct trebuie să se poată viza două fire plasate coliniar cu punctul, în turnul puţului.

Firele lestate în puţ vor fi ghidate cu cîte un scripete glisant (fig. XV.43) prin deplasare laterală faţă de direcţia θ_p.

Scripetele glisant va fi manevrat de un figurant situat în turnul puţului şi va fi ghidat de operatorul din punctul A; pentru început va fi poziţionat firul depărtat F_1 iar apoi firul apropiat F_2. După terminarea acestei operaţii se vor măsura distanţele a b şi $\bar{c}$ cu care se va face o primă verificare:

$$a^s = b^s + \bar{c} \tag{4.28}$$

Se vor calcula coordonatele firului F_1:

$$F_1 \begin{cases} x_1 = x_A + a^s \cos \theta_p \\ y_1 = y_A + a^s \sin \theta_p \end{cases} \tag{4.29}$$

eventual:

$$F_2 \begin{cases} x_2 = x_A + b^s \cos \theta_p \\ y_2 = y_A + b^s \sin \theta_p \end{cases} \tag{4.30}$$

Orientarea direcţiei (identică cu orientarea dintre fire) şi coordonatele firului sînt elemente ce vor rămîne aceleaşi şi pentru subteran (fig. XV.44).

În subteran va fi plasat, la o distanţă cît mai mare de firele lestate, un teodolit aşezat pe un trepied sau pe un dispozitiv de deplasare laterală a teodolitului. Se va determina, aşa cum s-a arătat, poziţia de echilibru a firelor, după care teodolitul va fi poziţionat pe direcţia θ_p, deci coliniar cu cele două fire F_2 şi F_1 lestate în secţiunea puţului. Acest lucru poate fi realizat prin măsurarea deplasării dintre vizarea firelor (fig. XV.45) tangente pe dreapta primului fir F_1 şi tangente pe stînga a aceluiaşi fir, poziţia medie reprezentînd situarea coliniară a teodolitului cu cele două fire, deci plasarea sa pe direcţia θ_p.

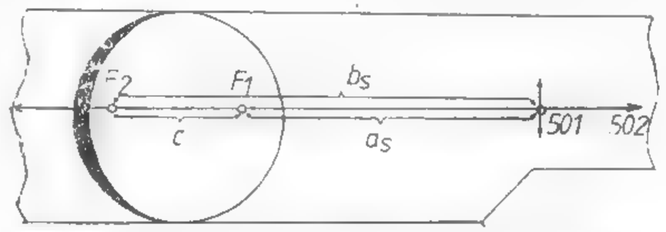


Fig. XV.44. Joncţiunea în subteran prin aliniere forţată.

Se măsoară distanţele a_s, b_s şi $\bar{c}$ şi se fac două verificări ale distanţei dintre fire $\bar{c}$ în subteran, astfel ca aceasta să fie identică cu distanţa $\bar{c}$ de la suprafaţă şi

$$b_s = a_s + \bar{c} \tag{4.31}$$

Orientarea θ_p va fi materializată în subteran prin plasarea a încă unui punct ($\overset{\odot}{|}$ 502) îndepărtat în faţa sau în spatele teodolitului.

Coordonatele punctului $\overset{\odot}{|}$ 502 vor fi calculate din:

$$\begin{cases} x_{502} = x_1 + a_s \cos \theta_p = x_2 + b_s \cos \theta_p \\ y_{502} = y_1 + a_s \sin \theta_p = y_2 + b_s \sin \theta_p \end{cases} \tag{4.32}$$

Fig. XV.45. Poziţionarea teodolitului în aliniere forţată.

Această metodă, în aparenţă expeditivă, oferă o precizie destul de bună, cu condiţia executării corecte a operaţiilor.

4.1.2.2. Metoda giroscopică de determinare a orientării

Aparatul utilizat este *giroteodolitul* compus dintr-un giroscop — adaptat pentru lucrări topografice — ataşat ghidat pe direcţia de viză a unui teodolit de mare precizie. Giroscopul prezintă proprietatea că la o turaţie mai mare de 24 mii rot/min, asupra sa mai acţionează doar forţa de rotaţie a Pămîntului, fapt ce-i direcţionează axa de rotaţie lupă meridianul locului. În aceste condiţii întreg ansamblul giroscop-teodolit va indica pentru direcţia vizată orientarea geografică θ_G. Cum însă în topografie interesează orien-

tarea geodezică a direcţiilor topografice de lucru, va fi necesar să fie determinată, pentru bazinul minier respectiv, convergenţa de meridian γ ca diferenţă dnte orientarea geografică θ_G şi orientarea geodezică θ respectiv :

$$\gamma_G = \theta_G - \theta \tag{4.33}$$

În acest caz pot fi utilizate cu bune rezultate două procedee.

Procedeul practic. Se alege un punct de triangulaţie $A(x_A, y_A)$ plasat aproximativ în centrul bazinului şi cu posibilităţi de viză lungă către un alt punct de triangulaţie $B(x_B, y_B)$. În punctul A se staţionează cu giroteodolitul, se calează şi se fac observaţii de determinare a orientării geodezice $\theta_{G_{AB}}$ a laturii— conform indicaţiilor prescriptuale a giroteodolitului utilizat. Se calculează din coordonate orientarea geodezică θ_{AB} a laturii vizate cu giroteodolitul.

Convergenţa de meridian va rezulta conform relaţiei cunoscute (4.33).

Procedeul analitic. Se calculează convergenţa de meridian din diferenţele de coordonate geodezice dintre centrul sistemului de coordonate şi un punct cunoscut din bazinul minier :

$$\gamma = (\lambda - \lambda_0) \sin\varphi$$

relaţie în care : λ este longitudinea punctului din centrul bazinului minier ; λ_0 — longitudinea originii sistemului de coordonate ; φ — latitudinea punctului din centrul bazinului minier.

Cunoscînd convergenţa de meridian (γ) — caracteristică bazinului minier respectiv — în subteran se va proceda astfel (fig. XV.46) :

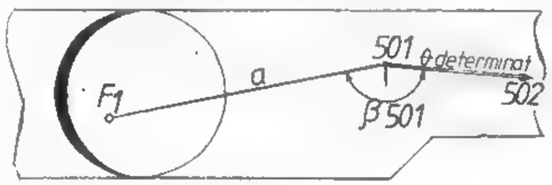


Fig. XV.46. Joncţiunea în subteran cînd se cunoaşte o orientare determinată.

Se va face staţie cu giroteodolitul într-un punct bine materializat ⊙ *501*, vizîndu-se un punct ⊙ *502*, determinîndu-se totodată orientarea geografică θ_G a laturii ⊙ *501* ⊙ *502*.

Orientarea geodezică a laturii ⊙ *501* ⊙ *502* — conform relaţiei — va fi :

$$\theta_{501,502} = \theta_{G_{501,502}} - \gamma$$

Pe puţul vertical de mină au fost deja proiectate coordonatele firului $F_1(x_1, y_1)$, iar cu teodolitul la care este ataşat giroscopul se măsoară unghiul β_{501}, unghi cu care se calculează împreună cu orientarea geodezică $\theta_{501,502}$ orientarea $\theta_{1,501} = \theta_{501,502} + \beta_{501} + 200^g$, măsurînd şi distanţa $a_{1,501}$, coordonatele punctului ⊙ *501* rezultă :

$$\odot\ 501 \begin{cases} x_{501} = x_1 + a\cos\theta_{1,501} \\ y_{501} = y_1 + a\sin\theta_{1,501} \end{cases} \tag{4.34}$$

Se realizează astfel materializarea în subteran, transmiterea atît a coordonatelor cît şi a orientării. Determinarea orientării se face cu o eroare de $\pm$ 30^{cc}.

4.1.3. DRUMUIRI PLANIMETRICE SUBTERANE

Cunoscute şi sub denumirea de *poligonaţii subterane*, acestea sînt asemănătoare în mare, cu lucrările de acelaşi gen executate la suprafaţă. Ridicarea topografică a drumurilor subterane se face cu teodolite — cu posibilităţi de centrare sub punct — avînd o eroare de citire de cel mult $\pm$ 20^{cc} pe limbul gradat orizontal. De regulă, pentru transmiterea orientării sînt utilizate teodolite cu o precizie de citire la cercul gradat orizontal de $\pm$ 2^{cc}, bine centrate în staţie cu o eroare mică de punctare, avînd în vedere că vizele sînt scurte. Unghiurile orizontale vor fi măsurate în ambele poziţii ale teodolitului, diferenţa între cele două măsurători nedepăşind cea mai mică diviziune de pe limbul gradat (p_a — precizia aparatului). Distanţele se măsoară direct în mină, cu rulete din oţel de cel puţin trei ori în ambele sensuri, diferenţa între măsurători să nu depăşească $\pm$ 1 mm la 50 m $= \frac{1}{50\,000}$, luîndu-se media măsurătorilor.

Periodic va fi controlată poziţia reciprocă a punctelor fixe (principale, tari) din subteran — puncte de sprijin pentru poligonaţiile planimetrice — constatînd dacă reechilibrarea rocilor în urma creării golurilor subterane nu a afectat poziţia planimetrică a acestor puncte.

4.1.3.1. Poligonaţia cu două capete

– Prin *capăt de sprijin al unei poligonaţii* se defineşte ansamblul constituit dintr-un punct de coordonate cunoscute şi o orientare sprijinită pe aceasta, de asemenea cunoscută.

Drumuirea cu două capete (fig. XV.47) este sprijinită pe capătul iniţial constituit din punctul $A(x_A, y_A)$ cunoscut şi orientarea iniţială cunoscută θ_0, şi capătul final de închidere constituit din punctul $F(x_F, y_F)$ cunoscut şi orientarea de închidere sau finală θ_f.

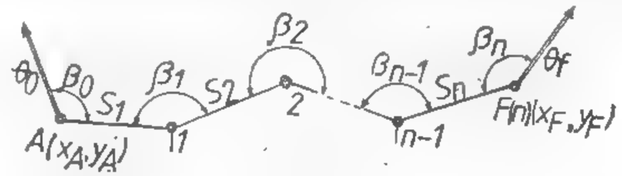


Fig. XV.47. Poligonaţia cu două capete.

Elementele măsurate sînt

- unghiurile $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots \beta_i, \ldots, \beta_{n-1}, \beta_n$ în total $(n + 1)$ unghiuri ;

— distanţele orizontale $s_1, s_2, \ldots, s_i, \ldots, s_{n-1}, s_n$; $[s]$ = lungimea desfăşurată a poligonaţiei.

Se calculează :

— orientările provizorii ;

— orientarea primei laturi notată către punctul vizat ;

$$\theta_{A1} \quad \theta_1' = \theta_0 + \beta_0$$

$$\theta_2' = \theta_0 + \beta_0 + \beta_1 + 200^g \tag{4.35}$$

$$\theta_i' = \theta_0 + [\beta]_0^{i-1} + (i - 1)\, 200^g$$

$$\theta_n' = \theta_0 + [\beta]_0^{n-1} + (n - 1)\, 200^g \tag{4.36}$$

— orientarea către punctul final F:

$$\theta_f' = \theta_0 + [\beta]_0^n + n \cdot 200^g \tag{4.37}$$

Datorită erorilor în măsurarea unghiurilor, va exista o neînchidere între orientarea finală cunoscută θ_f şi orientarea finală (provizorie) calculată:

$$W_\theta = \theta_f - \theta_f' \tag{4.38}$$

Dacă neînchiderea pe orientări W_θ se încadrează în toleranţa pe unghiuri dată de relaţia:

$$T_\beta = \pm\, 20^{cc} \sqrt{n + 1} \quad \text{Dacă } W_\theta \leqslant T_\beta \tag{4.39}$$

atunci se poate proceda la compensarea pe orientări, proporţional cu numărul unghiurilor măsurate. Corecţia pe unghi măsurat va fi dată de

$$C_\theta^0 = \frac{W_\theta}{n + 1} \tag{4.40}$$

cu ajutorul căreia pot fi compensate orientările:

$$\theta_1 = \theta_1' + C_\theta^0 \tag{4.41}$$

$$\theta_2 = \theta_2' + 2C_\theta^0$$

$$\theta_i = \theta_i' + i\, C_\theta^0 \tag{4.42}$$

$$\theta_n = \theta_n' + n\, C_\theta^0$$

$$\theta_f = \theta_{f'} + (n + 1)\, C_\theta^0 \tag{4.43}$$

relaţie ce verifică (4.38), (4.40).

Cu orientările compensate pot fi calculate coordonatele provizorii ale punctelor curente ale drumuirii:

$$\begin{cases} x_1' = x_A + s_1 \cos\theta_1 \\ y_1' = y_A + s_1 \sin\theta_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2' = x_A + s_1 \cos\theta_1 + s_2 \cos\theta_2 \\ y_2' = y_A + s_1 \sin\theta_1 + s_2 \sin\theta_2 \end{cases} \tag{4.44}$$

$$\begin{cases} x_i' = x_A + [s \cos\theta]^i \\ y_i' = y_A + [s \sin\theta]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_F' = x_n' = x_A + [s \cos\theta] \\ y_F' = y_n' = y_A + [s \sin\theta] \end{cases}$$

Datorită erorilor de măsurare a distanţelor vor exista neînchideri pe coordonate în punctul final

$$W_x = x_F - x_F'; \quad W_y = y_F - y_F' \tag{4.45}$$

iar neînchiderea totală pe punct va fi:

$$W_{x,y} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \tag{4.46}$$

care dacă va fi sub toleranţă

$$T_{x,y} = \pm \left(0{,}003 \sqrt{[s]} + \frac{[s]}{2600} \right) \geqslant W_{x,y} \tag{4.47}$$

va putea fi efectuată compensarea pe coordonate, proporţional cu lungimea parcursă pînă în punctul respectiv; astfel, corecţiile unitare vor fi date de:

$$C_x^0 = \frac{W_x}{[s]} \quad (4.48) \qquad C_y^0 = \frac{W_y}{[s]} \tag{4.49}$$

iar coordonatele compensate vor fi:

$$\begin{cases} x_1 = x_1' + s_1\, C_x^0 \\ y_1 = y_1' + s_1\, C_y^0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_2 = x_2' + (s_1 + s_2)\, C_x^0 \\ y_2 = y_2' + (s_1 + s_2)\, C_y^0 \end{cases} \tag{4.50}$$

$$\begin{cases} x_i = x_i' + [s]^i\, C_x^0 \\ y_i = y_i' + [s]^i\, C_y^0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_F = x_n = x_n' + [s]\, C_x^0 \\ y_F = y_n = y_n' + [s]\, C_y^0 \end{cases} \tag{4.51}$$

relaţii ce verifică (4.45) şi (4.48).

Într-o astfel de poligonație poate fi ușor efectuat un studiu al erorilor de determinare a orientărilor și coordonatelor cu ajutorul următoarelor relații:

$$M_{\theta_i} = \pm \frac{W_\theta}{n} \sqrt{i(n-i)} \tag{4.52}$$

$$M_{x_i} = \pm \frac{W_x}{[S]} \sqrt{[S]^i ([S] - [S]^i)}$$

$$M_{y_i} = \pm \frac{W_y}{[S]} \sqrt{[S]^i ([S] - [S]^i)} \tag{4.53}$$

4.1.3.2. Poligonația cu un cap de sprijin și un punct de închidere

Are ca element inițial un cap de sprijin format dintr-un punct A (x_A, y_A) și o orientare inițială θ_0, și un punct de închidere $F(x_F, y_F)$ (fig. XV.48).

Vor fi măsurate următoarele elemente:

- unghiuri orizontale: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_i \ldots, \beta_{n-1} = n$ unghiuri;
- distanțe orizontale $s_1, s_2, \ldots, s_i, \ldots, s_{n-1}, s_n, = [s]$ lungimea orizontală desfășurată a traseului.

Calculul va consta din stabilirea orientărilor provizorii cu relațiile (4.35) și (4.36), orientări ce nu pot fi compensate, neexistînd o orientare de închidere (o astfel de compensare poate fi efctuată dacă în prealabil s-a făcut măsurarea poligonației de la F la A cu închidere pe orientarea inițială θ_0).

Cu orientările provizorii vor fi calculate coordonatele provizorii cu relațiile (4.44), neînchiderile pe coordonate (4.45), (4.46) comparate cu toleranța pe coordonate (4.47) și efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) și (4.49).

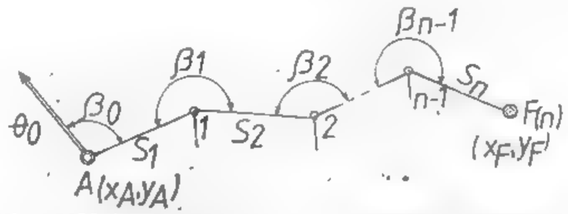


Fig. XV.48. Drumuirea cu un capăt sprijinit și un punct de închidere.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relațiile (4.51) și (4.53).

4.1.3.3. Poligonația minieră

Cunoscută sub denumirea de poligonație minieră, *drumuirea minieră* este utilizată pentru constituirea unui traseu principal de sprijin la nivelul unui orizont, atunci cînd transmiterea de coordonate se face de la suprafață cu cîte un fir pe două puțuri verticale.

Elementele cunoscute sînt punctul $A(x_A, y_A)$ și punctul de capăt $F(x_F, y_F)$.

Elementele măsurate:

- unghiurile $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_i, \ldots, \beta_{n-1} = (n-1)$ unghiuri,
- distanțe orizontale $s_1, s_2, \ldots, s_i, \ldots, s_{n-1}, \ldots, s_n$, $[s]$ lungimea orizontală desfășurată a poligonației.

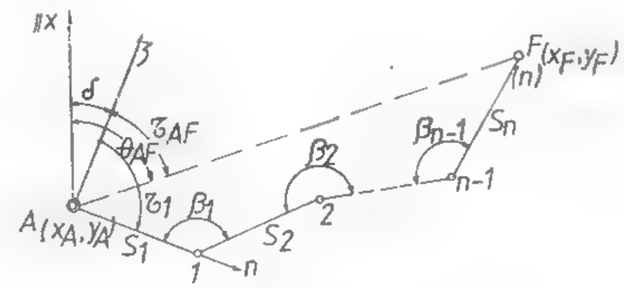


Fig. XV.49. Drumuirea minieră.

Necesitînd o orientare inițială de sprijin în sistemul general (x, y), se face apel la un artificiu, alegîndu-se un sistem rectangular particular (ξ, η) plasat cu originea în primul punct al poligonației cu o axă pe prima latură a poligonației, astfel încît poligonația să se situeze pe cît posibil în primul cadran al sistemului particular. Conform figurii XV.49 se poate ușor observa că

$$\xi_A = 0;\ \eta_A = 0;\ \tau_1 = 100^g,\ (\text{sau } \tau_1 = 0^g)$$

Calculul orientărilor în sistemul particular

$$\begin{aligned}
\tau_1 &= 100^g \\
\tau_2 &= \tau_1 + \beta_1 - 200^g \\
\tau_i &= \tau_1 + [\beta]^{i-1} - (i-1)\,200^g \\
\tau_n &= \tau_1 + [\beta]^{n-1} + (n-1)\,200^g
\end{aligned} \tag{4.54}$$

Cu aceste orientări particulare pot fi calculate coordonatele în sistemul particular:

$$\begin{cases} \xi_1 = \xi_A + s_1 \cos\tau_1 \\ \eta_1 = \eta_A + s_1 \sin\tau_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \xi_2 = \xi_A + s_1 \cos\tau_1 + s_2 \cos\tau_2 \\ \eta_2 = \eta_A + s_1 \sin\tau_1 + s_2 \sin\tau_2 \end{cases} \tag{4.55}$$

$$\begin{cases} \xi_i = \xi_A + [s \cos\tau]^i \\ \eta_i = \eta_A + [s \sin\tau]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} \xi_F = \xi_A + [s \cos\tau] \\ \eta_F = \eta_A + [s \sin\tau] \end{cases}$$

Se observă că sînt cunoscute perechile de coordonate, atît în sistemul general x, y), cît şi în sistemul particular (ξ, η), ceea ce permite calculul unghiului de rotire dintre cele două sisteme. Astfel unind imaginar A cu F, se pot calcula orientările

$$\operatorname{tg}\theta_{AF} = \frac{y_F - y_A}{x_F - x_A} \Rightarrow \theta_{AF} \qquad (4.56)$$

$$\operatorname{tg}\tau_{AF} = \frac{\eta_F - \eta_A}{\xi_F - \xi_A} \Rightarrow \tau_{AF} \qquad (4.57)$$

unghiul de rotire

$$\delta = \theta_{AF} - \tau_{AF} \qquad (\text{sau } \delta = \tau_{AF} - \theta_{AF}) \qquad (4.58)$$

de unde:

$$\theta_i = \tau_i + \delta \qquad (\text{respectiv } \theta_i = \tau_i - \delta) \qquad (4.59)$$

Ca atare, orientările în sistemul general ale laturilor poligonale vor fi:

$$\begin{array}{lcl} \theta_1 = \tau_1 + \delta & & (\theta_1 = \tau_1 - \delta) \\ \theta_2 = \tau_2 + \delta & & (\theta_2 = \tau_2 - \delta) \\ \dots\dots\dots & & \dots\dots\dots \\ \theta_i = \tau_i + \delta & \text{sau} & (\theta_i = \tau_i - \delta) \\ \dots\dots\dots & & \dots\dots\dots \\ \theta_F = \tau_F + \delta & & (\theta_F = \tau_F - \delta) \end{array} \qquad (4.60)$$

cu care pot fi calculate coordonatele provizorii în sistem general utilizînd relaţiile (4.44), apoi neînchiderile pe coordonate în punctul F cu relaţiile (4.45), (4.46), care vor fi comparate cu toleranţa pe coordonate (4.47) şi efectuată compensarea pe coordonate cu (4.48) şi (4.49).

Un alt procedeu de calcul a coordonatelor în sistem general după găsirea unghiului de rotire (4.58), (4.59), este *procedeul transcalculului de coordonate* utilizînd relaţiile corespunzătoare; astfel pentru (4.68)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos\delta + \eta_i \sin\delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin\delta + \eta_i \cos\delta \end{cases} \qquad (4.61)$$

iar pentru (5.69)

$$\begin{cases} x_i = x_A + \xi_i \cos\delta - \eta_i \sin\delta \\ y_i = y_A + \xi_i \sin\delta + \eta_i \cos\delta \end{cases} \qquad (4.62)$$

Calcul care nu prezintă controlul unitar asupra punctelor poligonale şi nici compensarea coordonatelor.

Studiul abaterilor punctuale ale punctelor poligonale va fi efectuat cu relaţiile corespunzătoare (4.51) şi (4.53).

4.1.3.4. Poligonaţia flotantă

Cunoscută şi sub denumirea de *poligonaţie suspendată*, poligonaţia flotantă (fig. XV.50) are un singur capăt de sprijin format dintr-un punct A (x_A, y_A) de coordonate cunoscute şi o orientare sprijinită pe aceasta θ_0, de asemenea cunoscută.

Acest tip de poligonaţie este des utilizat în subteran, mai ales în cazul lucrărilor de străpungere.

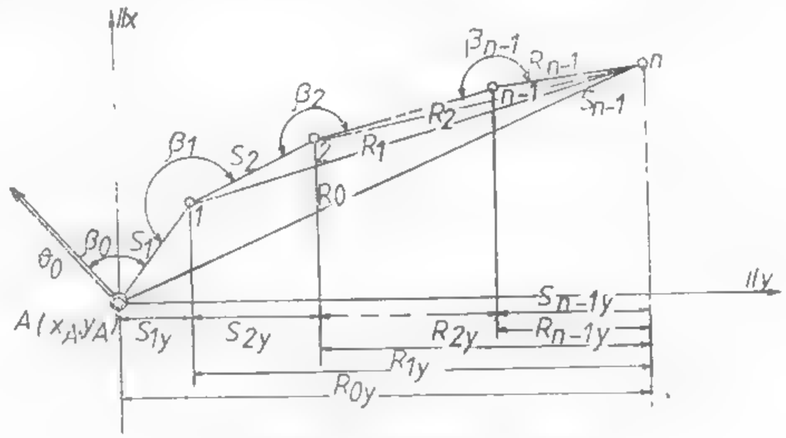


Fig. XV.50. Poligonaţia flotantă.

Elementele cunoscute sînt:

— punctul A (x_A, y_A) şi orientarea iniţială de sprijin θ_0.

Elementele măsurate:

— unghiurile β_0, β_1, β_2, . . ., β_i, . . ., β_{n-1}, în total n unghiuri;

— distanţele s_1, s_2, . . ., s_i, . . ., s_n, lungimea orizontală desfăşurată a traseului [s].

Elementele calculate sînt

— orientările provizorii prin intermediul relaţiilor (4.35) şi (4.36) cu ajutorul cărora vor fi calculate coordonatele provizorii ale poligonaţiei flotante, prin intermediul relaţiilor (4.44).

Necesitînd un control asupra punctului suspendat n, din drumuirea flotantă se efectuează fie remăsurarea şi calculul poligonaţiei înapoi către punctul iniţial de sprijin pe acelaşi traseu, fie pe aceleaşi puncte, fie pe alte puncte, transformînd astfel poligonaţia într-o *poligonaţie cu două capete* (poligonaţie în circuit închis), punctul final fiind corectat cu jumătate din neînchiderea provenită prin parcurgerea dublă a traseului.

Studiul erorilor pe orientări şi pe coordonate în poligonaţia flotantă se face prin metoda grafoanalitică. În acest sens se raportează poligonaţia flotantă pe un plan la o scară cît mai mare (1/200—1/100), adăugîndu-se eventual şi străpungerea ce va fi efectuată. Se împart porţiunile rectilinii în segmente mai mici de 50 m (ruleta pentru măsurarea distanţelor are lungimea maximă de 50 m) indicînd noile puncte poligonale, iar curbele de racordare vor fi descompuse după planul de trasare în coordonate corespunzătoare de trasare prin punctele intermediare de conducere în curbă a lucrării în săpare. Din punctul final n al poligonaţiei flotante vor fi trasate, către toate punctele poligonale, raze vectoriale care vor fi proiectate pe axele de coordonate. Vor fi, în

continuare, măsurate şi trecute în tabelul următor proiecţiile distanţelor dintre puncte şi ale razelor vectoare pe ambele axe de coordonate (tabelul XV.3).

La tabel vor fi efectuate ridicările la pătrat şi însumările corespunzătoare, cu ajutorul cărora vor fi calculate următoarele erori:

Tabelul XV.3

Proiecţiile distanţelor şi ale razelor vectoare

	S_x	S_x^2	R_x	R_x^2	S_y	S_y^2	R_y	R_y^2
A	-	—	R_{0x}	R_{0x}^2	—	—	R_{0y}	R_{0y}^2
1	S_{1x}	S_{1x}^2	R_{1x}	R_{1x}^2	S_{1y}	S_{1y}^2	R_{1y}	R_{1y}^2
2	S_{2x}	S_{2x}^2	R_{2x}	R_{2x}^2	S_{2y}	S_{2y}^2	R_{2y}	R_{2y}^2
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
$n-1$	S_{n-1x}	S_{n-1x}^2	R_{n-1x}	R_{n-1x}^2	S_{n-1y}	S_{n-1y}^2	R_{n-1y}	R_{n-1y}^2
n	S_{nx}	S_{nx}^2	-	—	S_{ny}	S_{ny}^2	—	—
[ ]	—	$[S_x^2]$	—	$[R_y^2]$	-	$[S_y^2]$	—	$[R_y^2]$

— eroarea datorită orientării iniţiale.

● pe axa x-ilor

$$M_{\theta_{ox}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{cc}} R_{oy} \tag{4.63}$$

relaţie în care m_{θ_0} este eroarea în determinarea orientării iniţiale, eroare care este dată de relaţia:

$$m_{\theta_0} = \pm \frac{m_{x,y}}{D} \rho^{cc} \tag{4.64}$$

în care: $m_{x,y}$ este eroarea totală de încadrare a punctului vizat, care pentru minerit se ia $\pm$ 15 cm; D — lungimea vizei;

● pe axa y-ilor

$$M_{\theta_{oy}} = \pm \frac{m_{\theta_0}}{\rho^{cc}} R_{ox}, \tag{4.65}$$

iar eroarea totală pe orientări va fi:

$$M_{\theta_0} = \pm \sqrt{M_{\theta_{ox}}^2 + M_{\theta_{oy}}^2} \tag{4.66}$$

— eroarea datorită unghiurilor măsurate.

● pe axa x-ilor

$$M_{\beta_x} = \pm \frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \sqrt{[R_y^2]} \tag{4.67}$$

în care: m_β este eroarea în măsurarea unui singur unghi; $m_\beta = \pm(2 - 5)\, p_a$ (factorul 2 - 5 se aplică astfel: 2 pentru aparate cu $p_a = 50^{cc}$ şi 5 pentru aparate cu $p_a = 2^{cc}$).

● pe axa y-ilor

$$M_{\beta_y} = \pm \frac{m_\beta}{\rho^{cc}} \sqrt{[R_x^2]}, \tag{4.68}$$

iar abaterea totală datorită unghiurilor va fi:

$$M_\beta = \pm \sqrt{M_{\beta_x}^2 + M_{\beta_y}^2} \tag{4.69}$$

— eroarea datorită distanţelor măsurate va fi

● pe axa x-ilor

$$M_{s_x} = f \sqrt{[S_x^2]} \tag{4.70}$$

unde $f = \frac{1}{3000 - 5000}$ eroarea în măsurarea distanţelor pentru subteran; (4.71)

● pe axa y-ilor

$$M_{s_y} = f \sqrt{[S_y^2]}; \tag{4.72}$$

eroarea totală datorită măsurătorii distanţelor va fi:

$$M_s = \sqrt{M_{s_x}^2 + M_{s_y}^2} \tag{4.73}$$

Cunoscînd eroarea de încadrare a punctului iniţial A, m_{Ax}, m_{Ay}, eroarea totală

● pe axa x-ilor va fi

$$M_x = \sqrt{m_{Ax}^2 + M_{\theta_{ox}}^2 + M_{\beta_x}^2 + M_{s_y}^2} \tag{4.74}$$

● pe axa y-ilor va fi:

$$M_y = \sqrt{m_{Ay}^2 + M_{\theta_{oy}}^2 + M_{\beta_y}^2 + M_{s_y}^2} \tag{4.75}$$

iar eroarea totală va fi

$$M_{x,y} = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \tag{4.76}$$

În cazul străpungerilor front-contrafront, studiul abaterilor punctuale se face asupra ambelor poligonaţii flotante, rezultînd diferenţiat erorile din ambele sensuri, care vor fi calculate separat pe axe în punctul de străpungere.

Cum însă la o străpungere interesează mai mult erorile longitudinale-transversale poligonației i se atașează un sistem particular longitudinal-transversal (exemplu u, v), sistem în care se va face studiul asemănător sistemului general.

4.1.3.5. Rețea planimetrică nodală

Este constituită din mai multe trasee cu capete sprijinite, comune într-un punct de intersecție denumit *punct nodal*. În rețeaua planimetrică nodală (fig. XV.51) sînt cunoscute elementele topografice de sprijin constituite dintr-un punct de coordonate cunoscute și o orientare de sprijin.

$$A(x_A,\ y_A),\ \theta_A;\ B(x_B,\ y_B),\ \theta_B;\ \text{și}\ C(x_C,\ y_C),\ \theta_C$$

Elementele măsurate:

- unghiuri: traseul I $\beta_{10}, \beta_{11}, \beta_{12}, \ldots, \beta_{1i} = (i+1)$ unghiuri;
  traseul II $\beta_{20}, \beta_{21}, \beta_{22}, \ldots, \beta_{2j} = (j+1)$ unghiuri;
  traseul III $\beta_{30}, \beta_{31}, \beta_{32}, \ldots, \beta_{3k} = (k+1)$ unghiuri;
- distanțe: traseul I: $s_{10}, s_{12}, \ldots, s_{1i}$; $[s]^i$ lungimea desfășurată a primului traseu;
  traseul II: $s_{21}, s_{22}, \ldots, s_{2j}$; $[s]^j$ lungimea desfășurată a celui de al doilea traseu;
  traseul III: $s_{31}, s_{32}, \ldots, s_{3k}$; $[s]^k$ lungimea desfășurată a celui de al treilea traseu.

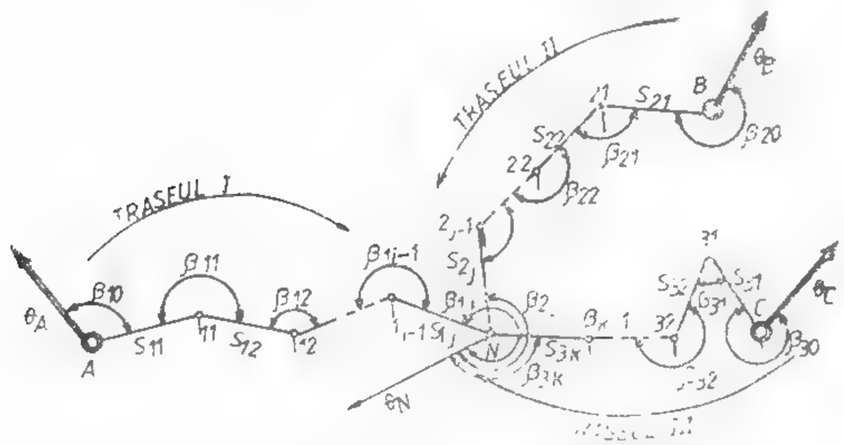


Fig. XV.51. Rețea planimetrică subterană.

Se calculează orientările provizorii pe fiecare traseu cu relațiile (4.2) și (4.3), rezultînd, pentru orientarea θ_N din punctul nodal, trei valori corespunzătoare traseului pe care au fost calculate:

$$\theta_N^{I} = \theta_A + [\beta_1]_0^i; \quad \theta_N^{II} = \theta_B + [\beta_2]_0^j; \quad \theta_N^{III} = \theta_C + [\beta_3]_0^k. \tag{4.77}$$

Cea mai probabilă valoare a orientării din punctul nodal va fi media ponderată a celor trei determinări, coeficienții de pondere vor fi corespunzători numărului de unghiuri ce au fost măsurate pe fiecare traseu în parte:

$$p_\beta^{I} = \frac{1}{i+1}; \quad p_\beta^{II} = \frac{1}{j+1}; \quad p_\beta^{III} = \frac{1}{k+1}. \tag{4.78}$$

atunci

$$\theta_N = \frac{p_\beta^{I}\,\theta_N^{I} + p_\beta^{II}\,\theta_N^{II} + p_\beta^{III}\,\theta_N^{III}}{p_\beta^{I} + p_\beta^{II} + p_\beta^{III}}. \tag{4.79}$$

Se face compensarea pe fiecare traseu conform relațiilor (4.37)—(4.43), obținîndu-se orientările compensate pe întreaga rețea nodală, orientări cu care vor fi calculate coordonatele provizorii pentru fiecare traseu în parte cu relațiile (4.44), inclusiv coordonatele punctului nodal corespunzător pentru fiecare traseu poligonal în parte, rezultînd:

$$\begin{cases} x_N^{I} = x_A + [s_1 \cos\theta_1]^i \\ y_N^{I} = y_A + [s_1 \sin\theta_1]^i \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_N^{II} = x_B + [s_2 \cos\theta_2]^j \\ y_N^{II} = y_B + [s_2 \sin\theta_2]^j \end{cases} \tag{4.80}$$

$$\begin{cases} x_N^{III} = x_C + [s_3 \cos\theta_3]^k \\ y_N^{III} = y_C + [s_3 \sin\theta_3]^k \end{cases}$$

Cele mai probabile valori ale coordonatei x (4.82) și ale coordonatei y (4.83) vor fi date de media aritmetică ponderată a celor trei valori corespunzătoare celor trei trasee, cu coeficienții de pondere rezultați din inversul lungimii fiecărui traseu.

$$p_{x,y}^{I} = \frac{1}{s^i}; \quad p_{x,y}^{II} = \frac{1}{s^j}; \quad p_{x,y}^{III} = \frac{1}{[s]^k} \tag{4.81}$$

$$x_N = \frac{p_{x,y}^{I}\,x_N^{I} + p_{x,y}^{II}\,x_N^{II} + p_{x,y}^{III}\,x_N^{III}}{p_{x,y}^{I} + p_{x,y}^{II} + p_{x,y}^{III}} \tag{4.82}$$

și pentru

$$y_N = \frac{p_{x,y}^{I}\,y_N^{I} + p_{x,y}^{II}\,y_N^{II} + p_{x,y}^{III}\,y_N^{III}}{p_{x,y}^{I} + p_{x,y}^{II} + p_{x,y}^{III}} \tag{4.83}$$

Între coordonatele punctului nodal astfel calculate și coordonatele provizorii va exista o diferență (conform 4.45 și 4.46) care dacă va îndeplini condiția de toleranță (4.47) va fi repartizată tuturor punctelor pe fiecare traseu în parte, conform cu (4.48) și (4.49).

Studiul abaterilor pe orientări și punctuale se va face cu ajutorul relațiilor (4.50)—(4.53).

4.1.3.6. Reţea planimetrică acolată

Această reţea planimetrică este des întîlnită în subteran la nivelul unui orizont de mină, fiind constituită dintr-un număr de ochiuri poligonale închise adiacente (fig. XV.52), avînd comun atît laturi (*BD*, *Dd*, *de* etc.) cît şi puncte poligonale (*d*, *e*, *k* etc.) şi nodale (*A*, *B*, *C*, *D*).

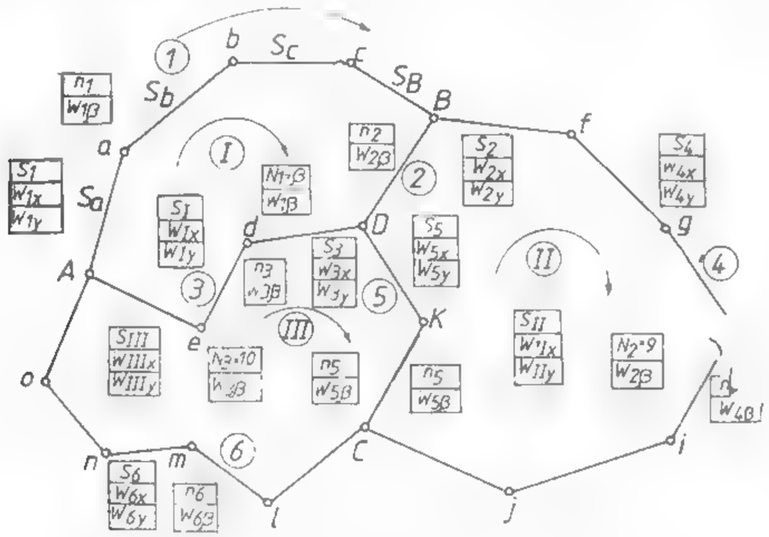


Fig. XV.52. Reţea planimetrică acolată.

Elementele măsurate sînt: direcţii — din diferenţa cărora vor rezulta unghiurile şi — distanţe orizontale corespunzătoare fiecărei laturi poligonale.

Alegînd o orientare cunoscută sau arbitrară, vor fi calculate orientările provizorii cu relaţiile cunoscute (4.45), (4.46) în fiecare ochi în parte, după sensul general de parcurgere.

Suma orientărilor (direcţii inverse sau duble) în fiecare ochi poligonal ar trebui să fie nulă, dar datorită erorilor de măsurare va exista corespunzător o neînchidere pe orientări.

$$W_{I\beta} = [\theta']_I \qquad W_{I\beta} = (N_I - 2)\cdot 200^g - [\beta]_I$$

$$W_{II\beta} = [\theta']_{II} \qquad W_{II\beta} = (N_{II} - 2)\cdot 200^g - [\beta]_{II} \qquad (4.83)$$

$$W_{III\beta} = [\theta']_{III} \qquad W_{III\beta} = (N_{III} - 2)\cdot 200^g - [\beta]_{III}$$

Rezultă un număr de ecuaţii de condiţii corespunzătoare numărului de ochiuri. Acest sistem al ecuaţiilor de condiţii va fi redus la un sistem normal de ecuaţii *Gauss*, corelat specific măsurătorilor condiţionate ponderate. Coeficienţii de pondere vor fi funcţie de numărul de unghiuri măsurate (numărul de laturi dublu orientate).

$N_I = 4$ = numărul laturilor dublu orientate pe secţiunea *AB*,

$N_2 = 1$; $N_3 = 3$; $N_I = n_I + n_2 + n_3 = 8$ = numărul de laturi dublu orientate în ochiul poligonal I ≡ cu numărul total de unghiuri măsurate în primul ochi.

$$N_4 = 5,\ N_5 = 2,\ N_{II} = N_2 + N_4 + N_5 = 9$$

$$N_6 = 5;\ N_{III} = N_3 + N_5 + N_6 = 10 \qquad (4.84)$$

Notînd cu $K_{1\beta}$, $K_{2\beta}$, K^0_β — corelatele corespunzătoare fiecărui ochi, sistemul normal se poate scrie după următoarea regulă: pe diagonala principală în mod corespunzător numărul total de orientări pe ochi cu semn pozitiv, ceilalţi coeficienţi vor fi negativi, corespunzător cu numărul de laturi dublu orientate.

Ochi	Corelata I	Corelata 2	Corelata 3	
Ochiul I	$N_1K_{I\beta}$	$-N_2K_{II\beta}$	$-N_3K_{III\beta}$	$+ W_{1\beta} = 0$
Ochiul II	$-N_2K_{I\beta}$	$+N_{II}K_{II\beta}$	$-N_5K_{III\beta}$	$+ W_{2\beta} = 0$ (4.85)
Ochiul III	$-N_3K_{I\beta}$	$-N_5K_{II\beta}$	$+N_{III}K_{III\beta}$	$+ W_{3\beta} = 0$

conform figurii sistemul scris pe diagonală va fi:

$$\begin{cases} 8K_{I\beta} - K_{II\beta} - 3K_{III\beta} + W_{I\beta} = 0 \\ 9K_{II\beta} - 2K_{III\beta} + W_{2\beta} = 0 \\ 10K_{III\beta} + W_{3\beta} = 0 \end{cases} \qquad (4.85')$$

Se va rezolva sistemul (4.84) prin una din metodele cunoscute, rezultînd mărimile corelatelor: $K_{I\beta}$, $K_{II\beta}$, $K_{III\beta}$.

Corecţiile pe direcţii sau orientări sînt date de următoarele relaţii:

— pentru latură exterioară corecţia este egală cu mărimea şi de semnul corelatei ochiului de care aparţine

$$(\text{exemplu pentru latura } ab,\ v_{ab} = K_{I\beta}) \qquad (4.86)$$

pentru latură adiacentă corecţia este dată de diferenţa dintre corelatele (cu semnele corespunzătoare) celor două ochiuri adiacente

$$(\text{exemplu } v_{de} = K_{I\beta} - K_{III\beta}) \qquad (4.87)$$

Corecţiile vor fi aplicate orientărilor provizorii calculate anterior, rezultînd orientările definitive.

Cu aceste orientări se vor calcula relativele pe *x* şi pe *y* pentru fiecare latură a traseului, plecînd dintr-un punct de coordonate cunoscute sau alese arbitrar. Se va calcula suma relativelor pe secţiunea *AB*:

$$\Delta' x_{Aa} + \Delta' x_{ab} + \Delta' x_{bc} + \Delta' x_{cB} = [\Delta x]_A^B$$

$$\Delta' y_{Aa} + \Delta' y_{ab} + \Delta' y_{bc} + \Delta' y_{cB} = [\Delta y]_A^B \qquad (4.88)$$

lungimea desfăşurată

$$s_a + s_b + s_c + s_d + S_A^B = S_1 \qquad (4.89)$$

în mod similar

$$\Delta' x_{BD}^{D};\ \Delta' y_{BD}^{D};\ S_{BD}^{D} \quad S_2$$

$$\Delta' x_{DB}^{A};\ \Delta' y_{DB}^{A};\ S_{DB}^{A} \quad S_3 \tag{4.90}$$

iar lungimea totală a ochiului I este

$$S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_I$$

în mod asemănător:

$$\Delta' x_{BC}^{C};\ \Delta' y_{BC}^{C};\ S_{BC}^{C} \quad S_4$$

$$\Delta' x_{CB}^{D};\ \Delta' y_{CB}^{D};\ S_{CB}^{D} \quad S_5$$

$$S_2 + S_4 + S_5 \quad S_{II} \tag{4.91}$$

$$\Delta' x_{CD}^{A};\ \Delta' y_{CD}^{A};\ S_{CD}^{A} \quad S_6$$

$$S_3 + S_5 + S_6 = S_{III} \tag{4.92}$$

Se vor calcula neînchiderile pe coordonate în fiecare ochi în parte, ținînd cont de semnul general de parcurgere al traseului

$$W_{1x} = [\Delta' x]_{AB}^{B} + [\Delta' x]_{BD}^{D} + [\Delta' x]_{DA}^{A}$$

$$W_{2x} = [\Delta' x]_{BC}^{C} + [\Delta' x]_{CB}^{D} + [\Delta' x]_{DB}^{B} \tag{4.93}$$

$$W_{3x} = [\Delta' x]_{CD}^{A} + [\Delta' x]_{DA}^{D} + [\Delta' x]_{DC}^{C}$$

și în mod similar.

$$W_{1y} = [\Delta' y]_{AB}^{B} + [\Delta' y]_{BD}^{D} + [\Delta' y]_{DA}^{A}$$

$$W_{2y} = [\Delta' y]_{BC}^{C} + [\Delta' y]_{CB}^{D} + [\Delta' y]_{DB}^{B} \tag{4.94}$$

$$W_{3y} = [\Delta' y]_{CD}^{A} + [\Delta' y]_{DA}^{D} + [\Delta' y]_{DC}^{C}$$

Se scriu sistemele normale *Gauss*, corespunzătoare măsurătorilor condiționate ponderate, după următoarele reguli: pe diagonala principală coeficienții corelatelor vor fi pozitivi și vor avea ca mărime lungimea totală desfășurată a ochiului; ceilalți coeficienți vor fi negativi și vor avea lungimea secțiunii corespunzătoare laturii adiacente dintre corelată și ochiul de rețea.

$$\begin{array}{lccccl}
 & K_I & K_{II} & K_{III} & & \\
\left\{\begin{array}{l}\text{Ochiul I}\\ \text{Ochiul II}\\ \text{Ochiul III}\end{array}\right. & +S_1K_{Ix} & -S_2K_{IIx} & -S_3K_{IIIx} & + W_{Ix} & = 0 \\
 & -S_2K_{IIx} & +S_{II}K_{IIx} & -S_5K_{IIIx} & + W_{2x} & = 0 \\
 & -S_3K_{Ix} & -S_5K_{IIx} & +S_{III}K_{IIIx} & + W_{3x} & = 0
\end{array} \tag{4.95}$$

și în mod similar pentru axa y-lor

$$\begin{array}{ccccl}
+S_1K_{Iy} & -S_2K_{IIy} & -S_3K_{IIIy} & + W_{1y} & = 0 \\
-S_2K_{Iy} & +S_{II}K_{IIy} & -S_5K_{IIIy} & + W_{2y} & = 0 \\
-S_3K_{Iy} & -S_5K_{IIy} & +S_{III}K_{IIIy} & + W_{3y} & = 0
\end{array} \tag{4.96}$$

Se rezolvă sistemele (4.95) și (4.96), rezultînd corelatele K_{Ix}, K_{IIx}, K_{IIIx} și respectiv K_{Iy}, K_{IIy}, K_{IIIy}, cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile totale pe fiecare secțiune a traseului acolat după următoarele reguli:

— pentru secțiune exterioară, corecția totală a secțiunii este dată de produsul dintre lungimea secțiunii, cu semnul sensului de calcul al relativei în raport cu suma generală de parcurgere a drumuirii acolate și corelata corespunzătoare ochiului respectiv

$$\text{ex. } W_{1x} = S_1 \cdot K_{Ix} \text{ și respectiv: } W_{1y} = S_1 \cdot K_{Iy} \tag{4.97}$$

— pentru secțiune comună a două ochiuri corecția totală a secțiunii rezultă ca produsul dintre lungimea secțiunii comune și diferența dintre corelate, luate în ordinea scrierii corelatelor.

$$\text{ex: } W_{2x} = S_2(K_{Ix} - K_{IIx}) \text{ și respectiv: } W_{2y} = S_2(K_{Iy} - K_{IIy}) \tag{4.98}$$

Cunoscînd corecțiile totale pe secțiuni se va face compensarea pe relative, calculînd pe fiecare secțiune corecțiile unitare:

$$C_{ix}^{0} = \frac{W_{ix}}{S_i}\ ;\quad C_{iy}^{0} = \frac{W_{iy}}{S_i} \tag{4.99}$$

exemplu:

$$C_{1x} = \frac{W_{1x}}{S_1}\ ;\quad C_{1y} = \frac{W_{1y}}{S_1} \tag{4.100}$$

— corecțiile pe relative

$$v_{jx} = [S]^{j} C_{ix}^{0};\ v_{jy} = [S]^{j} C_{iy}^{0} \tag{4.101}$$

exemplu

$$v_{Aax} = s_a \cdot C_{1x}^{0};\ v_{Aay} = s_a \cdot C_{1y}^{0}$$

$$v_{abx} = (s_a + s_b) C_{1x}^{0};\ v_{aby} = (s_a + s_b) C_{1y}^{0}$$

$$v_{bCx} = (s_a + s_b + s_c) C_{1x}^{0};\ v_{bcy} = (s_a + s_b + s_c) C_{1y}^{0}$$

$$v_{eBx} = S_1 \cdot C_{1x}^{0} = W_{1x};\ v_{eBy} = S_1 \cdot C_{1y}^{0} = W_{2y}$$

corecții ce se aplică relativelor calculate provizoriu

$$\Delta jx = \Delta'_{jx} + v_{jx};\quad \Delta_{jy} = \Delta'_{jy} + v_{jy} \tag{4.102}$$

exemplu:

$$\Delta x_{Aa} = \Delta' x_{Aa} + v_{Aax};\quad \Delta y_{Aa} = \Delta' y_{Aa} + v_{Aay}$$

$$\Delta x_{ab} = \Delta' x_{ab} + v_{abx};\quad \Delta y_{ab} = \Delta' y_{ab} + v_{aby}$$

$$\Delta x_{bc} = \Delta' x_{bc} + v_{bcx};\quad \Delta y_{bc} = \Delta' y_{bc} + v_{bcy} \tag{4.103}$$

$$\Delta x_{eB} = \Delta' x_{eB} + v_{eBx};\quad \Delta y_{eB} = \Delta' y_{eB} + v_{eBy}$$

Obținînd astfel relativele compensate care se vor adăuga la coordonatele unui singur punct cunoscut vor rezulta coordonatele compensate pentru întreg traseul poligonal acolat.

4.2. NIVELMENT SUBTERAN

Scopul nivelmentului este de a determina înălţimea diferitelor puncte topografice de nivelment în raport cu o suprafaţă unică de referinţă pentru cote, necesare reprezentării lucrărilor miniere cunoscute ca poziţie planimetrică.

Dat fiind caracterul definit al sistemului de cote în raport cu sistemul de coordonate, reţeaua nivelitică este de regulă separată de reţeaua planimetrică, dar pe aceleaşi lucrări miniere.

Nivelmentul face parte integrantă din sistemul de referinţă al bazinului minier, fapt ce impune unicitatea atît la suprafaţă cît şi în subteran. În acest scop este necesară legarea unitară a cotelor punctelor topografice de la suprafaţă cu punctele subterane.

4.2.1. TRANSMITEREA COTELOR ÎN SUBTERAN

Transmiterea cotelor se face în subteran pe gurile de acces în subteran, deosebind în acest sens două categorii de lucrări: galeria de coastă şi puţul vertical de mină.

Transmiterea cotelor pe galeria de coastă. Reperele de nivelment necesare materializării sistemului de referinţă la suprafaţa bazinului minier sînt marcate fie prin borne de beton de cote cunoscute (prin nivelment geometric de la mijloc, de mare precizie, din reţeaua naţională de nivelment), fie prin repere nivelitice pe clădiri (de aceeaşi precizie).

În cazul accesului în subteran pe galerie de coastă sau plan înclinat (fig. XV.53), cota se transmite în subteran prin nivelment geometric de la mijloc.

Se cunoaşte cota H_A a reperului de nivelment A. La mijlocul distanţei ($d < 200$) pînă la punctul *501* unde se transmite cota H_{501}, se staţionează cu o nivelă. Reperul

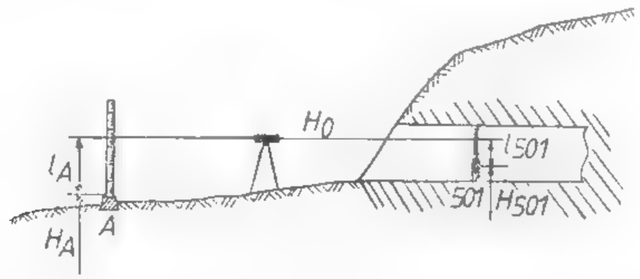


Fig. XV.53. Transmiterea cotelor pe galerie de coastă.

de nivelment A şi punctul din subteran *501* vor fi semnalizate cu mire parlante aparţinătoare nivelei, mire pe care vor fi făcute lecturile l_A, respectiv l_{501}.

Cota orizontului.

$$H_0 = H_A + l_A \tag{4.104}$$

Cota punctului *501*.

$$H_{501} = H_0 - l_{501} \text{ sau } H_{501} = H_0 + l_A - l_{501} \tag{4.105}$$

Se observă că diferenţa de nivel

$$h_{501,A} = H_{501} - H_A \quad (4.106) \quad \text{sau} \quad h_{501,A} = l_A - l_{501} \quad (4.107)$$

Transmiterea cotelor pe puţul vertical de mină. Se face funcţie de aparatura existentă, condiţiile ce le oferă puţul respectiv şi destinaţia datelor obţinute. Sînt cunoscute mai multe metode:

Transmiterea cotei cu panglica se execută astfel: din turnul puţului unde se montează bobina cu panglica de 100, 250 sau 500 m, se lansează panglica lestată în secţiunea puţului degrevat momentan la transport şi aeraj. La suprafaţă se cunoaşte un reper de nivelment A, prin cota H_A, care va fi semnalizat cu o mică corespunzătoare aparatului de nivelat cu care se fac citirile atît pe mică (l_A) cît şi pe panglică (b).

În subteran se staţionează cu nivela la jumătatea distanţei dintre reperul nivelitic a cărui cotă va fi determinată, reper semnalizat printr-o mică parlantă corespunzătoare aparatului pe care se va face lectura l_{501} şi panglica lestată în puţ, pe care se face lectura a. Din fig. XV.54 se observă că înălţimea brută (cota) punctului *501* rezultă din

$$H'_{501} = H_A + l_A - (l - a) + l_{501} \quad (4.108)$$

cotă căreia trebuie să i se aducă corecţiile corespunzătoare adîncimii puţului: de temperatură (C_t) şi de tensiune (C_p).

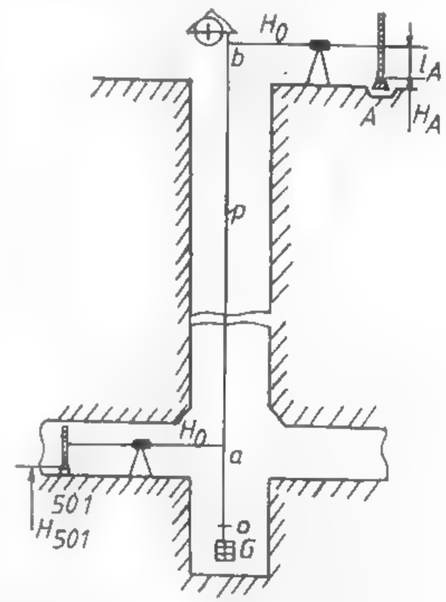


Fig. XV.54. Transmiterea pe puţ a cotei cu panglică specială.

$$H_{501} = H'_{501} + C_t + C_p \tag{4.109}$$

Corecţia de temperatură este o funcţie de temperatura de lucru t, care se ia ca medie

$$t = \frac{t^s + t_s}{2} \tag{4.110}$$

a temperaturii de la gura puţului t^s şi temperatura pe puţ t_s, la orizontul la care se determină cota; temperatura de etalonare a ruletei este de obicei 20°, şi lungimea măsurată pe panglică ($b - a$).

$$C_t = (b - a) \cdot (t^\circ - 20^\circ) \cdot 0{,}0115 \tag{4.111}$$

Corecţia de alungire a firului este funcţie de masa specifică a oţelului (γ = 7,8 kg/dm³), modulului de elasticitate a oţelului (E = 2 · 10⁶ daN/cm²) şi lungimea l desfăşurată a ruletei.

$$C_p = \frac{\gamma \cdot 1000}{10\,E} \cdot (b - a) \cdot \left(l - \frac{b - a}{2}\right) \tag{4.112}$$

Transmiterea cotei cu ruleta se face în cazul absenței panglicilor speciale. La aplicarea metodei (fig. XV.55) vor participa doi operatori topografi: primul (O_1) va lua loc pe acoperișul coliviei puțului, fiind asigurat cu centură de siguranță, iar [illegible] al doilea (O_2) va fi plasat într-o chiblă, pe funia coliviei, la o înălțime aproximativ egală cu lungimea ruletei și va ține capătul de zero al ruletei.

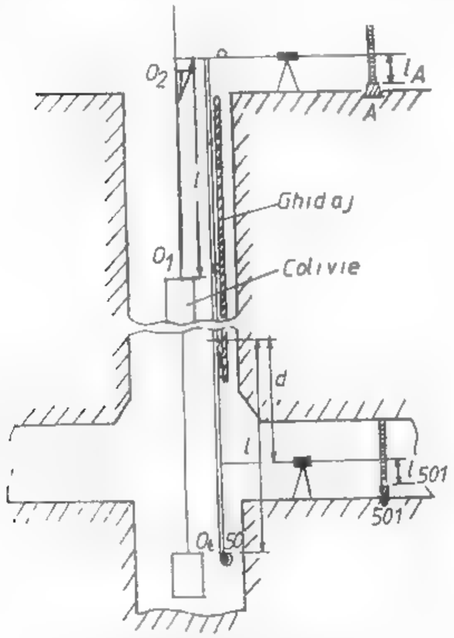


Fig. XV.55. Transmiterea pe puț a cotelor cu ruletă.

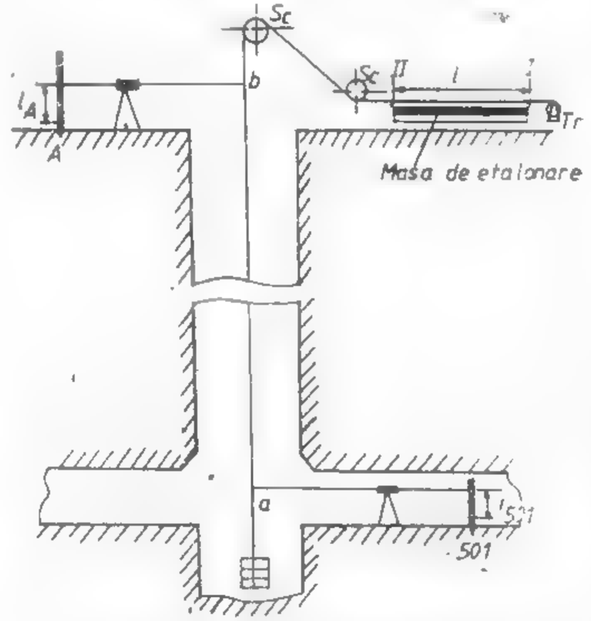


Fig. XV.56. Transmiterea pe puț a cotelor cu firul lestat.

Operația de măsurare începe de sus în jos, prin coborîrea coliviei cu mașina de extracție și opriri la intervale aproximativ egale cu lungimea ruletei. Cei doi operatori vor măsura lungimi egale cu lungimea ruletei (l), lungimi marcate de operatorul (O_1) prin baterea unor cuie reper pe același ghidaj al puțului. La orizontul la care se transmite cota va fi vizată ultima citire pe ruleta d. Înălțimea măsurată ($b - a$)

$$(b - a) = n \cdot l + d \qquad (4.113)$$

relație în care n reprezintă numărul de rulete întregi măsurate.

Cota provizorie H'_{501} a punctului *501* va fi dată de relația (4.108). Influența variației tensiunii de întindere și de alungire este neglijabilă, va fi aplicată numai corecției de temperatură C_t (4.110), (4.111). Cota definitivă va fi

$$H_{501} = H'_{501} + C_t \qquad (4.114)$$

Transmiterea cotei utilizînd firul lestat. Poate utiliza un fir folosit anterior la proiectarea mecanică a coordonatelor, făcînd o amenajare suplimentară (fig. XV.56), constînd din instalarea unei mese de etalonare, prin fața căreia să treacă firul la înmagazinarea sa.

Prin măsurători de nivelment se vizează pe fir, la suprafață, un punct b care se marchează prin crestare, vopsire sau cositorire, iar în subteran se vizează un punct a care se marchează asemănător.

Se trage firul din puț pe troliul *Tr* ghidat pe scripete *Sc* prin fața mesei de etalonare. La capătul *I* al mesei de etalonare se aduce semnul b de pe fir, în dreptul capătului *II* se așază o agrafă de măsurare, se depozitează firul în continuare pe troliu, pînă agrafa ajunge în *I*, punîndu-se o nouă agrafă în *II* și așa mai departe înregistrîndu-se numărul (n) de treceri a lungimii l (a etalonului) pe fir, măsurîndu-se și ultima porțiune cu ajutorul unei rulete. Lungimea

$$(b - a) = n \cdot l + d \qquad (4.115)$$

Cota provizorie H'_{501} a punctului de nivelment *501* este dată de (4.108), cotă asupra căreia va fi adusă doar corecția de temperatură după relațiile (4.110), (4.111) rezultînd cota definitivă H_{501} dată de relația (4.114).

4.2.2. METODE DE NIVELMENT SUBTERAN

Nivelmentul subteran, ca principii de utilizare a metodelor, nu se deosebește de cel de la suprafață, decît prin modul de plasare al reperelor de nivelment. Materializarea reperelor de nivelment subteran se face în peretele lateral al galeriei, opus spațiului de circulație, la o înălțime de circa 30 cm față de vatră sau coroana șinei, prin repere metalice speciale pentru punctele principale și prin platbande pentru punctele curente de nivelment.

Metoda nivelmentului geometric de la mijloc. Este aplicată pe lucrările miniere cu pantă mică.

Reperul *501* de cotă cunoscută H_{501} este semnalizat printr-o mică parlantă, ca și punctul *502* a cărui cotă se cere a fi determinată (fig. XV.57).

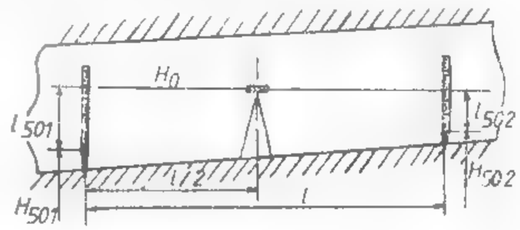


Fig. XV.57. Nivelment geometric de la mijloc în subteran.

Aparatul de nivelat va fi amplasat aproximativ la jumătatea distanței (d = 200 m) dintre cele două puncte. Se vizează mira din punctul *501* și se face lectura l_{501} și apoi mira din *502* și se face lectura l_{502}.

Cota orizontului

$$H_0 = H_{501} + l_{501} \qquad (4.116)$$

Cota punctului *502*.

$$H_{502} = H_0 - l_{502} \qquad (4.117)$$

sau

$$H_{502} = H_{501} + l_{501} - l_{502}. \qquad (4.118)$$

Diferenţa de nivel dintre cele două repere

$$h_{502-501} = H_{502} - H_{501} \qquad (4.119)$$

$$h_{502-501} = l_{501} - l_{502} \qquad (4.120)$$

Pentru un traseu nivelitic, se procedează asemănător pentru fiecare niveleu în parte.

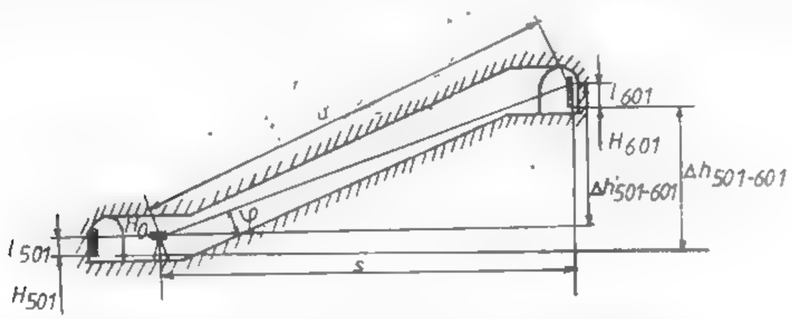


Fig. XV.58. Nivelment trigonometric subteran

Metoda nivelmentului trigonometric. Este aplicată în cazul planelor înclinate cu pantă mare, în imposibilitatea aplicării nivelmentului geometric de la mijloc.

Reperul cunoscut *501* se semnalizează cu o miră parlantă. Cu un teodolit se face staţie într-un punct cu vizibilitatea înspre ambele puncte. Cu luneta orizontală se vizează reperul cunoscut *501*, făcîndu-se lectura l_{501} (fig. XV.58)

Cota orizontului va fi

$$H_0 = H_{501} + l_{501}$$

Se vizează apoi mira ce semnalizează punctul *601*, făcîndu-se lectura l_{501}, citindu-se şi unghiul vertical φ. Cunoscînd distanţa orizontală *s* sau măsurînd distanţa înclinată *d*, poate fi calculată diferenţa de nivel $\Delta h'_{501,601}$ între teodolit şi viza pe miră

$$\Delta h'_{501,601} = s \cdot \mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.121)$$

sau

$$\Delta h'_{501,601} = d \cdot \sin\varphi \qquad (4.122)$$

atunci diferenţa de nivel dintre punctele *501* şi *601* va fi

$$\Delta h_{501,601} = l_{501} + \Delta h'_{501,601} - l_{601}$$

Pentru simplificarea relaţiei se alege ca lectură pe miră înainte din *601* egală lectura din viza înapoi către *501*

$$l_{601} = l_{501} \qquad (4.123)$$

astfel încît:

$$\Delta h'_{501,601} = \Delta h_{501,502} \qquad (4.124)$$

Cota punctului *601*:

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + s\,\mathrm{tg}\,\varphi - l_{601} \qquad (4.125)$$

sau

$$H_{601} = H_{501} + l_{501} + d \sin\varphi - l_{601} \qquad (4.126)$$

dar respectînd condiţia (5.123):

$$H_{601} = H_{501} + s\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.127)$$

respectiv

$$H_{601} = H_{501} + d \sin\varphi \qquad (4.128)$$

În cazul cînd condiţiile subterane impun utilizarea teodolitului cu ambele vize înclinate, atunci relaţia se modifică în consecinţă.

Nivelmentul în trepte. Cunoscut şi sub numele de *nivelment prin stafilare*, după denumirea instrumentului ce se utilizează, nivelmentul în trepte este aplicat în lucrările miniere de formă neregulată, cu diferenţe mari de nivel, cazuri imposibile de soluţionat prin nivelment geometric de la mijloc. Stafilatorul este construit din două rigle gradate (1—1,5 m) (fig. XV.59), perpendiculare între ele, cu posibilităţi de glisare. Dispozitivul, la utilizare, va avea rigla orizontală orizontalizată cu o nivelă cu bulă de aer (boloboc) sau riglă verticală, verticalizată cu un fir cu plumb.

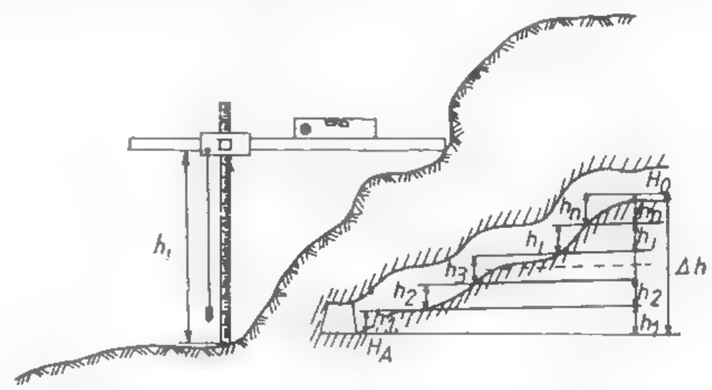


Fig. XV.59. Nivelment subteran în trepte.

Diferenţa de nivel dintre două puncte h_t va fi citită pe rigla culisabilă verticală, în dreptul reperului aflat pe glisieră.

Diferenţa totală va fi stabilită prin însumarea diferenţelor de nivel parţiale.

$$\Delta h_{AB} = [h] \qquad (4.129) \qquad H_B = H_A + \Delta h_{AB} \qquad (4.130)$$

4.2.3. TRASEE NIVELITICE SUBTERANE

Definirea spaţială a reţelei subterane de lucrări miniere se face şi prin poziţionarea pe înălţime a tuturor punctelor caracteristice, unitar legate între ele prin trasee de nivelment de bună precizie.

După modul de constituire (forma lucrărilor miniere), sînt utilizate în subteran mai multe tipuri de trasee de nivelment

Drumuire de nivelment geometric de la mijloc Este formată din puncte nivelitice subterane în care, cunoscînd cota unui punct prin nivelment geometric de la mijloc, pot fi determinate cotele celorlalte puncte în mod succesiv. Pe lîngă aceste puncte mai pot fi calculate totodată şi cotele unor puncte în afara traseului. În cazul cînd se cunoaşte cota unui punct de închidere, poate fi efectuată o compensare corespunzătoare a traseului nivelitic cu procedeu şi relaţii corespunzătoare.

Măsurătorile, calculele şi schiţa traseului sînt înscrise în formulare corespunzătoare (tabelul XV.4).

Se calculează neînchiderea W_H la capătul drumuirii, în punctul 508, unde cota H_{508} se cunoaşte

$$W_H = H_{508} - H'_{508} = 426{,}549 - 426{,}524 = +25 \text{ mm}$$

care se compară cu toleranţa T_H dată de

$$T_H = \pm 50 \text{ mm} \sqrt{d_j} \text{ km} = \pm 27 \text{ mm}$$

Deoarece neînchiderea $W_H \leqslant T_H$, atunci poate fi efectuată compensarea pe cote. Se calculează corecţia unitară.

$$C_H^0 = \frac{W_H}{[d]} = \frac{25 \text{ mm}}{297{,}6} = 0{,}084 \frac{\text{mm}}{\text{m}}$$

corecţie ce se aplică proporţional cu lungimea traseului parcurs, conform tabelului XV.4, tabel în care se observă că au fost incluse şi puncte radiate cu vize de „mijloc"

Reţea nivelitică nodală. În general, reţeaua nivelitică nodală nu se deosebeşte de acelaşi gen de reţea rezolvată planimetric (§ 4.1.3.5)

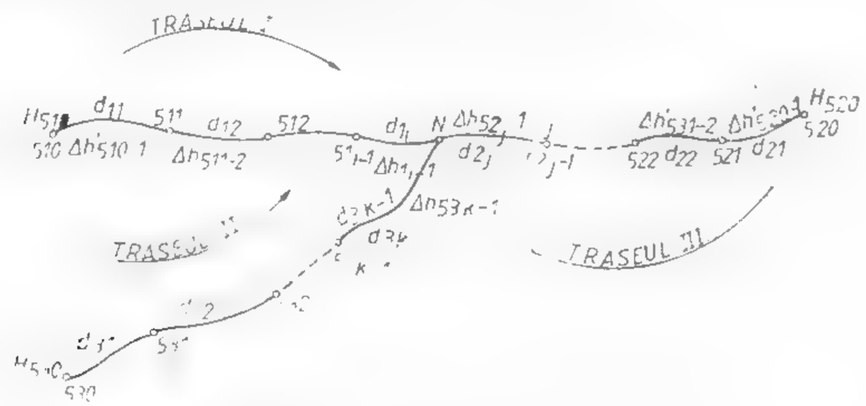


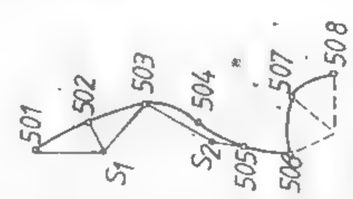
Fig. XV.60. Reţea nivelitică nodală.

Elementele unoscute sînt cotele punctelor de capăt H_{510}, H_{520}, H_{530} (fig. XV.60).

Elementele măsurate sînt diferenţele de nivel între punctele curente ale fiecărui traseu, cu ajutorul cărora prin nivelment geometric de la mijloc sau nivelment trigo-

Tabelul XV.4

Compensarea drumuirii de nivelment geometric

Punct staţie	Punct vizat	Citiri pe mină înapoi	Citiri pe mină mijloc	Citiri pe mină înainte	Cota orizont	Cota H relativă	Corecţia C	Cota H definitivă	Distanţa pe porţiuni	Distanţa cumulată	Schiţa
—	501	1,15						424,191			
S_1	502	—	0,921	—	425,348	424,427	0,003	424,427	31,10		
	503	—		0,427		424,921	0,008	424,927	39,3	70,4	
S_2	503	1,814	—	—	426,735	424,921		—	—	—	
	504	—	1,111	—		426,624	0,010	426,634	45,8	116,2	
	505	—	1,092	—		425,643	0,010	425,656	38,2	154,4	
	506	—		0,824		425,911	0,018	425,929	61,2	215,6	
S_3	506	1,428	—	—	427,339	425,911					
	507	—	0,928	—		426,411	0,021	426,432	31,8	247,4	
	508	—		0,815		426,524	0,025	426,549	50,2	297,6	

nometric se calculează cotele necompensate ale punctelor curente pe trasee şi a punctului nodal N. Va rezulta deci pe

traseul 10 $H'_H = H_{510} + [\Delta h_1]^i_0$; lungimea traseului $[d]^i_{10}$

traseul 20 $H''_N = H_{520} + [\Delta h_2]^j_0$; lungimea traseului $[d]^j_{20}$

traseul 30 $H'''_N = H_{530} + [\Delta h_3]^k_0$; lungimea traseului $[d]^k_{30}$

Coeficienţii de pondere

Traseul	Lungimea	Nivelment geometric	Nivelment trigonometric
I	$[d]^i_{10}$	$p'_N = \dfrac{1}{[d]^i_{10}}$	$p'_N = \dfrac{1}{\{[d]^i_{10}\}^2}$
II	$[d]^j_{20}$	$p''_N = \dfrac{1}{[d]^j_{20}}$	$p''_N = \dfrac{1}{\{[d]^j_{20}\}^2}$
III	$[d]^k_{30}$	$p'''_N = \dfrac{1}{[d]^k_{30}}$	$p'''_N = \dfrac{1}{\{[d]^k_{30}\}^2}$

(4.131)

Cea mai probabilă valoare a cotei punctului nodal N va fi media aritmetică ponderată:

$$H_N = \frac{p'_N \cdot H'_N + p''_N \cdot H''_N + p'''_N \cdot H'''_N}{p'_N + p''_N + p'''_N} \tag{4.132}$$

Se calculează neînchiderea pe cotă, pe fiecare traseu, după relaţia (4.133)

$$W'_N = H_N - H'_N;\quad W''_N = H_N - H''_N;\quad W'''_N = H_N - H'''_N \tag{4.133}$$

cu ajutorul cărora vor fi calculate corecţiile unitare pe cote, pe fiecare traseu, cu relaţia (4.134)

$$C^{0'}_N = \frac{W_H}{[d]^i_0};\quad C^{0''}_N = \frac{W_H}{[d]^j_0};\quad C^{0'''}_N = \frac{W_H}{[d]^k_0} \tag{4.134}$$

şi apoi vor fi compensate cotele provizoriu calculate, proporţional cu lungimea traseului parcurs:

$$\begin{aligned} H_{11} &= H'_{11} + d_{11}C^{10}_N \\ H_{12} &= H'_{12} + (d_{11} + d_{12})C^{10}_N \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ H_N &= H'_N + [d]^i_0 C^{10}_N \end{aligned} \tag{4.135}$$

şi în mod similar pe celelalte trasee.

Reţea nivelitică acolată. Este construită din ochiuri adiacente de nivelment (fig. XV.61).

Se cunoaşte cota unui singur punct aparţinînd reţelei nivelitice acolate. Se măsoară diferenţele de nivel dintre punctele curente aparţinînd fiecărei secţiuni în parte,

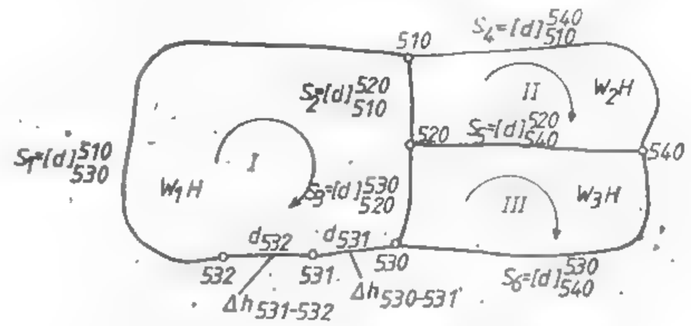


Fig. XV.61. Reţea nivelitică acolată.

diferenţe de nivel ce se însumează după sensul general al traseului acolat. Astfel vor rezulta

$$[\Delta h']^{510}_{530},\quad [\Delta h']^{520}_{510};\quad [\Delta h']^{530}_{520};\quad [\Delta h']^{540}_{510};\quad [\Delta h']^{520}_{540};\quad [\Delta h']^{530}_{540}$$

Ca mod de rezolvare se urmăreşte modul de compensare pe coordonate a reţelei planimetrice acolate (§ 4.1.3.6).

Se calculează lungimea fiecărei secţiuni S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 şi lungimea fiecărui ochi în parte

$$\begin{aligned} S_I &= S_1 + S_2 + S_3 \\ S_{II} &= S_2 + S_4 + S_5 \\ S_{III} &= S_3 + S_5 + S_6 \end{aligned} \tag{4.136}$$

Se calculează neînchiderile pe cote în fiecare ochi în parte:

$$\begin{aligned} W_{1H} &= [\Delta h']^{510}_{530} + [\Delta h']^{520}_{510} + [\Delta h']^{530}_{520} \\ W_{2H} &= [\Delta h']^{520}_{510} + [\Delta h']^{540}_{510} + [\Delta h']^{520}_{540} \\ W_{2H} &= [\Delta h']^{530}_{520} + [\Delta h']^{520}_{540} + [\Delta h']^{530}_{540} \end{aligned} \tag{4.137}$$

Cum coeficienţii de pondere sînt funcţie tot de lungimea traseului parcurs, se ţine cont de aceleaşi considerente după care au fost scrise sistemele (4.95) şi (4.96) rezultînd astfel

$$\begin{aligned} S_1K_{1H} - S_2K_{IIH} - S_3K_{IIIH} + W_{1H} &= 0 \\ -S_2K_{1H} + S_{II}K_{IIH} - S_5K_{IIIH} + W_{2H} &= 0 \\ S_3K_{1H} - S_5K_{IIH} + S_{III}K_{IIIH} + W_{3H} &= 0 \end{aligned} \tag{4.138}$$

Sistem care, rezolvat, va oferi valorile corelatelor K_{IH}; K_{IIH} și K_{IIIH} cu ajutorul cărora vor fi calculate corecțiile totale pe fiecare secțiune în parte, conform considerațiilor de la rețeaua planimetrică acolată și anume

- pentru secțiunea marginală de contur, corecția totală este dată de produsul dintre lungimea secțiunii și corecția corespunzătoare ochiului respectiv: ex

$$W_{1H} = S_1 \cdot K_{1H} \tag{4.139}$$

pentru secțiunea comună, corecția totală pe secțiune este data de produsul dintre lungimea secțiunii și diferența dintre corelatele celor două ochiuri adiacente luate ca semn după sensul general al întregului traseu: ex.

$$W_{2H} = S_2(K_{1H} - K_{IIH}) \tag{4.140}$$

Corecțiile totale astfel rezultate vor fi repartizate tuturor diferențelor de nivel corespunzătoare secțiunii respective în raport cu lungimea traseului parcurs. Corecția unitară pe secțiune este dată de

$$C^0_{iH} + \frac{W_{iH}}{S_i} \tag{4.141}$$

ex

$$C^0_{1H} = \frac{W_{1H}}{S_1}$$

cu ajutorul căreia se calculează corecția corespunzătoare pe diferența de nivel:

$$v_{jH} = [d]^j C^0_{iH} \tag{4.142}$$

$$v_{530-531} = d_{530-531} \cdot C^0_{1H}$$

$$v_{531-532} = (d_{531} + d_{532}) C^0_{1H}$$

$$v_{510} = S_1 C^0_{1H} \tag{4.143}$$

iar diferențele de nivel compensate vor fi:

$$h_{530-531} = h'_{530-531} + v_{530-531}$$

$$h_{531-532} = h'_{531-532} + v_{531-532} \tag{4.144}$$

$$h_{510} = h'_{510} + v_{510}$$

Se procedează în mod asemănător pe toate secțiunile. Cunoscînd diferențele de nivel compensate, se pot ușor calcula cotele definitive aferente întregii rețele nivelitice acolate.

4.3. RIDICAREA DE DETALII ÎN SUBTERAN

Întocmirea completă a planurilor și hărților topografice, evidențierea deformări lucrărilor miniere și rectificarea acestora, stabilirea cantităților și volumelor de producție în subteran necesită lucrări topografice de ridicări de detalii.

4.3.1. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE

O lucrare minieră, din punctul topografic al măsurătorilor, calculelor și reprezentărilor grafice se reduce la axa lucrării miniere, care se definește ca intersecția dintre planul vertical de simetrie (VV) și planul orizontal (HH), situat la înălțimea de 1 m față de coroana șinei (fig. XV.62).

Ridicările topografice de detaliu vor fi făcute în condițiile identificării acestei axe, raportate la sistemul topografic de sprijin subteran (fig. XV.63).

Pe lucrarea minieră vor fi semnalizate punctele topografice ⊙ *501* și ⊙ *502*, cu ajutorul unor fire cu plumb pe lîngă care se întinde o ruletă (I) la înălțimea de 1 m față de coroana șinei. Prin metoda ordonatelor și absciselor la intervalele de 1 m,

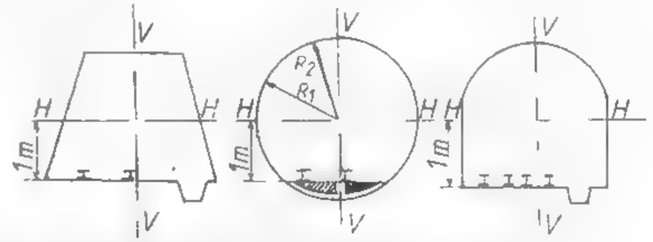


Fig. XV.62. Planele și axele de simetrie ale unor lucrări miniere orizontale.

5 m, 10 m, se vor măsura distanțele de la perete la ruleta (I) făcînd citirile: zero la un perete, a_i la ruleta (I) și b_i la cel de al doilea perete. Planul de detaliu al galeriei se obține raportînd măsurătorile la rețeaua topografică cunoscută, prin unirea

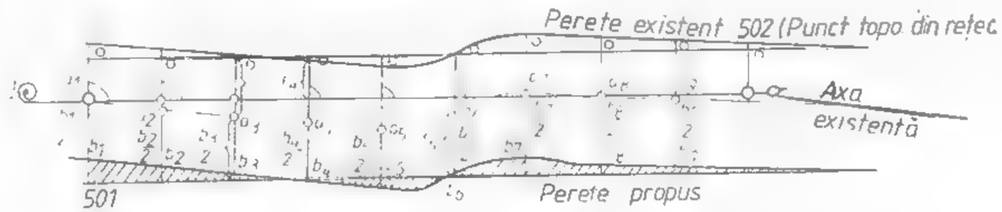


Fig. XV.63. Ridicarea de detalii în lucrări miniere orizontale.

punctelor de același fel. Axa reală a lucrării minere se găsește la poziția $b_i/2$ pentru fiecare secțiune. Pentru eventuala rectificare a galeriei se trasează noua axă și conturul pereților, după care vor fi măsurate grafic, în fiecare secțiune, distanțele propuse de la pereți laterali față de ruleta (I, s) stînga și d, dreapta

Nivelitic, ridicarea topografică se face prin întocmirea unui profil longitudinal la nivelul coroanei şinei sau, în lipsa acesteia, la nivelul vetrei lucrării miniere. Ca element de sprijin este utilizat un reper de nivelment din reţeaua nivelitică de sprijin, iar ridicarea nivelitică se face funcţie de gradul de detaliu impus, utilizînd nivelmentul geometric cu o echidistanţă de 5 m sau 10 m.

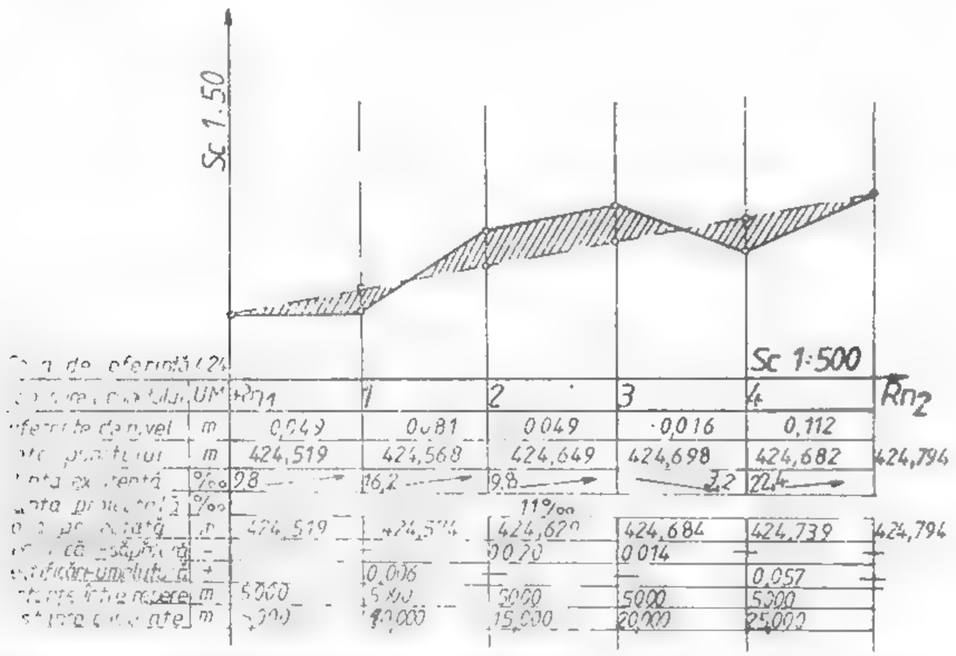


Fig. XV.64. Profil longitudinal de detaliu printr-o lucrare minieră orizontală.

În baza măsurătorilor executate, se va întocmi profilul longitudinal al lucrării miniere (fig. XV.64).

Cînd se impune şi ridicarea topografică a tavanului lucrării miniere, se execută nivelmentul geometric de la mijloc, cu mira la tavan, în aceleaşi secţiuni în care se face nivelmentul pentru vatră, întocmindu-se un profil longitudinal dublu, cu grafic şi rubrici corespunzătoare vatră-tavan.

4.3.2. RIDICAREA DE DETALII ÎN LUCRĂRI MINIERE VERTICALE

Puţul vertical de mină este definit, din punct de vedere constructiv, printr-o axă verticală rezultată prin intersecţia a două plane verticale de simetrie. În secţiune, puţul se caracterizează printr-o serie de axe după cum urmează (fig. XV.65)

— (*I, I*) (*II, II*) axele secundare de transport rezultate din unirea mijloacelor ghidajelor perechi;

— (*III, III*) axa principală de transport ca medie a celor două axe secundare;

(*IV, IV*) axa principală longitudinală a puţului ce cuprinde centrul geometric (*C*) al puţului;

(*V, V*) axa transversală a puţului (simetrică).

Axa principală de transport (*III, III*) este paralelă cu axa principală longitudinală (*IV, IV*) a puţului şi se găseşte la distanţa *m* — decalajul axelor; *E* — centrul de extracţie; E_I şi E_{II} — centrele secundare de transport.

Prin ridicarea de detaliu în lucrarea minieră verticală (puţul vertical de mină) se urmăreşte întocmirea, în baza măsurătorilor topografice, a planului de detaliu al secţiunilor succesive ale puţului pe întreaga sa înălţime.

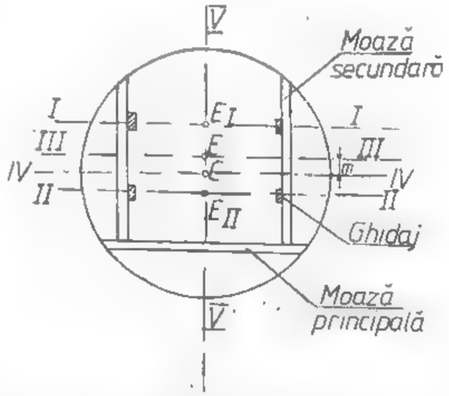


Fig. XV.65. Axele puţului vertical de mină.

După gradul de detaliu impus, se stabilesc pe înălţimea puţului o serie de secţiuni de ridicat (releveu) alese la echidistanţe de 5, 10 sau 20 m de la gura înspre jompul puţului. Operaţia de măsurare pe puţ se execută degrevînd momentan puţul de transport, iar operatorii topografi vor lucra pe colivia unui compartiment al puţului, (cealaltă colivie va fi suspendată în turnul puţului), colivie ce va coborî şi opri la fiecare secţiune de releveu. În prima fază, vor fi fixate reperele de sprijin (*A, B, C, D*) (de la gura puţului înspre jomp) în pereţii puţului, pentru fiecare secţiune, în locuri uşor accesibile. Măsurătorile vor consta în (fig. XV.66) poziţionarea reciprocă a reperelor principale prin măsurarea tuturor distanţelor posibile (*ab, ac, ad, bc, bd, cd*). Faza a II-a va consta în ridicarea de detalii în raport cu reperele principale (*ABCD*), din jomp înspre gura puţului, a tuturor punctelor caracteristice: capetele moazelor (*a, b, c, d, e, f*), ghidajelor (g_1, g_2, g_3, g_4), neregularităţi ale puţului (*n, p*), metoda utilizată fiind intersecţia distanţelor. Vor fi măsurate cel puţin două distanţe de la punctul de detaliu *a* la reperele de sprijin (*aB, aC*) (a_1D, g_1B) (*nB, nC*);

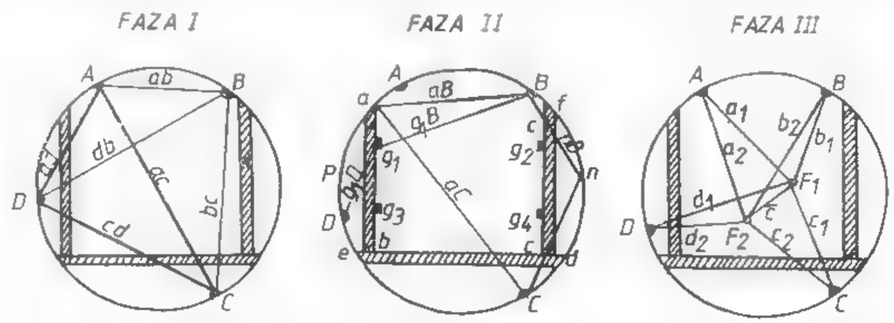


Fig. XV.66. Ridicarea detaliilor în puţul vertical de mină.

În faza a III-a se va poziţiona fiecare secţiune în raport cu un sistem unic constînd din două fire metalice F_1, F_2 lestate în secţiunea coliviei suspendată momentan din circulaţie. Se măsoară toate distanţele posibile dintre reperele de sprijin (*A, B, C, D*) şi cele două fire (F_1, F_2) şi, de asemenea, distanţa dintre fire e pentru control.

În baza acestor măsurători vor fi întocmite planurile topografice ale secțiunilor la o scară cât mai mare (max. 1:20). Secțiunea zero (S_0) de la gura puțului va fi întocmită pe hârtie de calc. Ordinea operațiilor este oarecum inversă operațiilor de măsurare și anume:

Se raportează măsurătorile din faza a III-a coroborate cu măsurătorile din faza I-a, după care vor fi raportate măsurătorile din faza II-a. Unind punctele de același fel se vor obține secțiunile de detaliu cu axele corespunzătoare, după cum au fost definite: axele secundare de transport ($I-I$ și $II-II$) ca linii ce unesc ghidajele perechi, axa principală de transport ($III-III$) ca media axelor ($I-I$ și $II-II$), axa principală longitudinală ($IV-IV$) la distanța m — decalajul axelor — în forma monografiei secțiunii și paralelă cu axa ($III-III$) și în sfârșit axa ($V-V$) ca medie a distanțelor dintre ghidajele transversale și centrul puțului C corespunzând intersecției axelor ($IV-IV$) cu ($V-V$). Secțiunea zero (S_0) i se va atașa pe axele ($IV-IV$) și ($V-V$) un sistem de axe de coordonate longitudinal-transversal (u, C, v) (fig. XV.67).

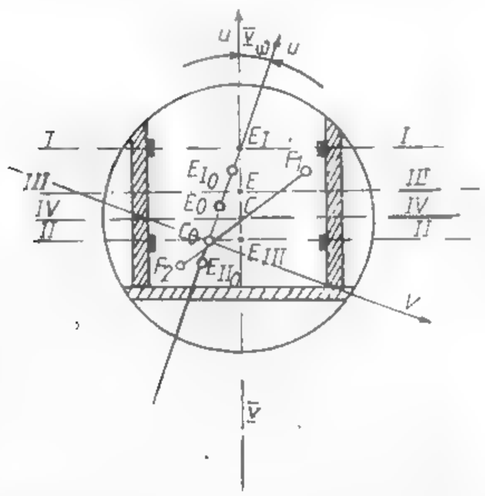


Fig. XV.67. Centrarea secțiunilor puțului.

Se va face în continuare centrarea secțiunilor constînd din: suprapunerea secțiunii S_0 peste fiecare secțiune în parte utilizîndu-se ca repere de bază cele C și fie F_1, F_2 unice pentru toate secțiunile.

În sistemul (u, C, v) vor fi măsurate coordonatele u și v pentru fiecare centru de axe (E_I, E_{II}, E, C) și unghiul de rotație a axelor, măsurători ce vor fi raportate grafic pe secțiuni (grafice verticale) la scară mare, pentru deplasările orizontale (fig. XV.68).

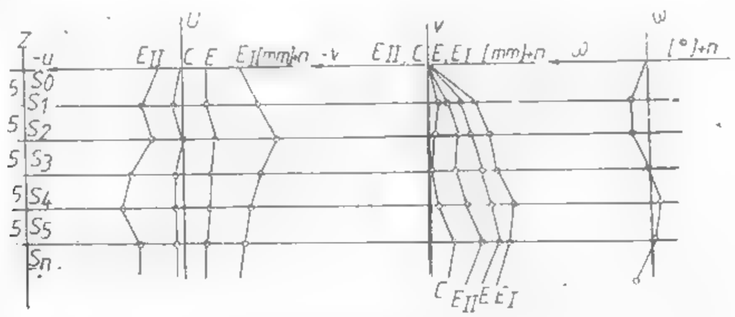


Fig. XV.68. Grafic privind deformarea puțului vertical de mină.

Cunoscînd abaterea maximă a deviației axei pe verticală, se pot determina secțiunile periculoase care trebuiesc rectificate, eventual reamenajate, în vederea unei circulații fluente și sigure pe puț.

În ceea ce privește tasarea puțului, pot fi plasate repere speciale destinate acestei operații, odată cu faza I-ii a ridicărilor anterioare. Reperele vor fi ghidate pe verticală de axul unui fir lestat pe lîngă peretele puțului. Se efectuează o măsurătoare „zero" care va fi urmată de măsurători la intervale regulate de timp. Prin compararea înălțimilor curente dintre reperele de secțiune cu măsurătoarea „zero" vor fi determinate tasările și vor fi reprezentate grafic.

5.3. RECEPȚIA ȘI EVIDENȚA LUCRĂRILOR MINIERE ÎN SĂPARE

Lucrările topografice privind recepția și evidența realizărilor la lucrările miniere în săpare se desfășoară în timp, la perioade bine stabilite, și anume: decadal, lunar și anual, și au ca scop urmărirea executării calitative și cantitative a lucrărilor miniere.

Recepționarea decadală a lucrărilor miniere se face în scopul urmăririi realizării eșalonate a planificărilor lunare.

Recepționarea lunară conține recepțiile decadelor I-ii și a II-a, coroborate cu recepția decadei a III-a și se face pe baza unor măsurători topografice definitive sprijinite pe rețeaua topografică a minei, cu ștuțe marcate în galerii prin plăcuțe metalice plasate pe armături, iar în planul topografic prin simboluri specifice lunii respective. Sfîrșitul de lună se nominalizează prin cifre arabe corespunzătoare lunii respective, sfîrșitul de trimestru prin cifre arabe corespunzătoare trimestrului, iar sfîrșitul de an prin ștuțe sub formă de trefă și ultimele două cifre ale anului respectiv. La recepționarea unei lucrări miniere, prima operație constă în verificarea executării lucrării în conformitate cu monografia de susținere, privind o serie de elemente printre care distanța dintre cadre și așezarea cadrelor de susținere, umplerea golurilor, ecartamentul, panta, tuburile de aeraj, conducerea în curbă, adîncimea canalului etc.

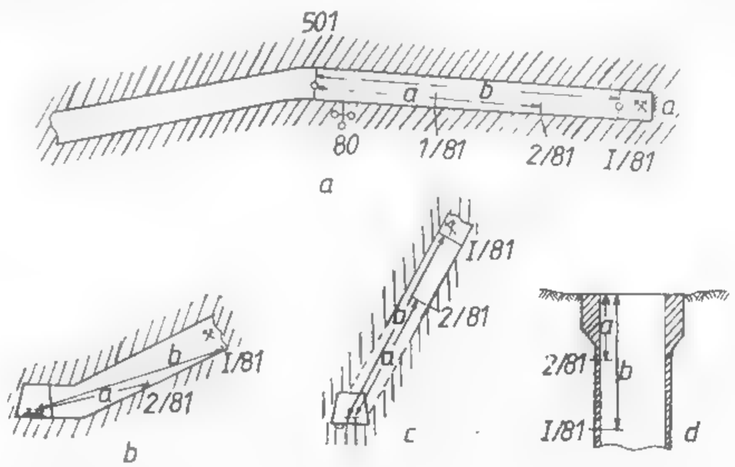


Fig. XV.69. Recepționarea lucrărilor miniere în săpare.

După efectuarea recepționării calitative a lucrării miniere în săpare se efectuează măsurătorile topografice specifice recepționării cantitative. Aceste măsurători sînt totdeauna sprijinite pe puncte topografice din rețeaua de sprijin a minei.

Din figura XV.69 se observă că lungimea săpată și amenajată în perioada martie 1981 este data de diferența măsurată ($b - a$); această cantitate de lucrări executate se referă la metri liniari, de profil tipizat definitiv executat.

Planele înclinate, suitorile şi puţurile se recepţionează şi se evidenţiază în aceleaşi condiţii, cu observaţia că măsurătorile sînt sprijinite pe coroana şinei orizontului de la care a fost atacată lucrarea minieră respectivă.

Realizările sînt evidenţiate pe reprezentările în secţiune a lucrărilor miniere şi în formulare tip.

4.3.4. RECEPŢIA ŞI EVIDENŢA PRODUCŢIEI REALIZATE ÎN ABATAJE

Eşalonarea în timp a perioadelor de recepţie a cantităţilor extrase în subteran este aceeaşi ca în cazul lucrărilor miniere.

Lucrările topografice de recepţie şi evidenţă a cantităţilor exploatate constau în măsurarea elementelor caracteristice golurilor create. Funcţie de tipul de zăcămînt şi metoda de exploatare sînt utilizate metode corespunzătoare.

Zăcămintele stratiforme cu înclinare mică. Caracteristice sînt zăcămintele de cărbune la adîncime mică, în care abatarea substanţei minerale utile se face cu exploziv (fig. XV.70) sau mecanizat, cu ajutorul combinelor (fig. XV.71).

În primul caz linia frontului fiind neregulată, aceasta va fi ridicată cu o bună precizie, utilizînd metoda coordonatelor rectangulare pe coardă. În acest scop se va utiliza ca sprijin reţeaua topografică existentă în zona respectivă. Astfel se va întinde o ruletă *I* între punctele *506* şi *507* aparţinînd reţelei topografice în galeria de bază (G_b). În frontul de lucru se întinde o a doua ruletă *II*, cît mai aproape de linia frontului, în dreptul citirii F_{II} pe ruleta *I*. Cu o a treia ruletă *III* se va constitui un triunghi de legătură, făcîndu-se citirile corespunzătoare I_{III} pe ruleta *I*, II_{III} pe ruleta *II* şi III_{II} pe ruleta *III*. Faţă de ruleta *III* perpendiculare vor fi măsurate distanţele (a_i) pînă la front şi citirile pe ruleta *II* (b_i).

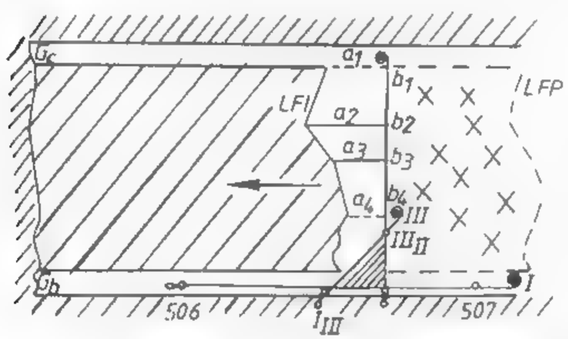


Fig. XV.70. Ridicarea liniei frontului în abataje de cărbune cu perforare-împuşcare.

În cursul lunii vor fi măsurate înălţimile abatajului cu o densitate de circa 5 m. Pe planul abatajului vor fi raportate datele obţinute în subteran, în ordinea în care au fost făcute observaţiile. Unind punctele de acelaşi fel din front, se va obţine linia frontului. Suprafaţa exploatată în cursul lunii respective va fi mărginită de linia frontului de la sfîrşitul lunii precedente (*LFP*), linia frontului la sfîrşitul lunii încheiate (*LFI*) şi conturul celor două galerii de bază (G_b) şi de capăt (G_c), suprafaţă care se va planimetra de cel puţin două ori, rezultînd $S_{I/81}$, suprafaţă exploatată în luna martie 1981.

Volumul exploatat *V* va rezulta ca produsul dintre înălţimea medie, h_m, în cursul lunii,

$$h_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} h \cdot i}{n} \qquad (4.145)$$

şi suprafaţa planimetrată

$$V_{I/81} = S_{I/81} \cdot h_m \quad [m^3]. \qquad (4.146)$$

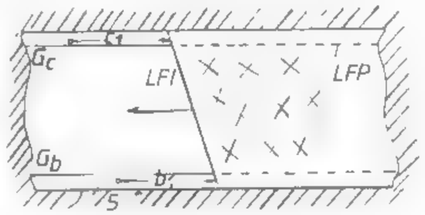


Fig. XV.71. Ridicarea liniei frontale la abataje de cărbune cu front lung şi combină.

După obţinerea liniei frontului este necesar indicarea în abataj a liniei corecte a liniei frontului, situată perpendicular pe sensul de înaintare a abatajului.

Dacă abatarea se face prin metode mecanizate (fig. XV.71), linia frontului este oarecum rectilinie, ridicîndu-se topografic ca atare.

Lucrările topografice sînt sprijinite pe puncte topografice (*512*, *509*) faţă de care se măsoară cu ruleta poziţia liniei frontului: b_1 faţă de *512* şi c_1 faţă *509*

Se raportează pe planul abatajului linia frontului la sfîrşitul lunii încheiate (*LFI*), plan pe care se găseşte şi linia frontului la sfîrşitul lunii precedente (*LFP*). Se va proceda, în continuare, ca în cazul arătat anterior pentru obţinerea volumului exploatat în cursul lunii încheiate.

Zăcăminte stratiforme cu înclinare mare. La aceste tipuri de zăcămînt, metodele topografice utilizate în evidenţierea volumelor excavate fac uz de descompunerea golurilor create în corpuri geometrice simple a căror volume pot fi uşor identificate

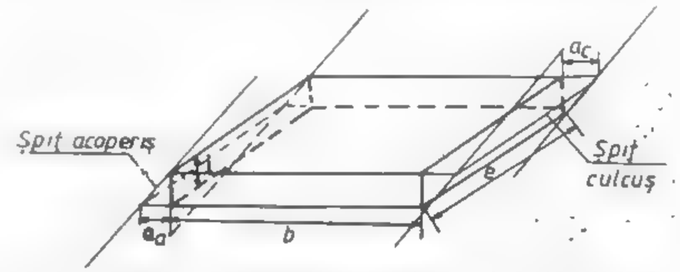


Fig. XV.72. Recepţia producţiei în abataje de cărbune cu înclinare mare.

prin măsurători simple, urmînd ca volumul total să rezulte prin însumarea volumelor parţiale. Astfel se procedează atît în cazul metodei în trepte cît şi în cazul exploatării în felii orizontale. În acest ultim caz, va fi evidenţiat separat volumul de cărbune rezultat din şpituri unde măsurătorile se fac pentru înălţimea feliei, adîncimea şpitului şi lungimea şpitului (fig. XV.72).

Volumul total pentru felie este

$$V = l\,l\left[b + \frac{1}{2}(a_a + a_i)\right] \qquad (4.147)$$

Cantitatea corespunzătoare

$$Q = V\,\gamma$$

unde: γ este masa volumetrică

De asemenea, va fi evidenţiată separat cantitatea de cărbune extrasă din stratul subţire însoţitor (ex. stratul Paprică în Valea Jiului).

În unele cazuri se practică o normă comună aferentă — m³ (t) de cărbune extras pentru felie, în care sînt însumate cantităţile extrase, inclusiv şpuţuri şi Paprică.

Indiferent de metoda utilizată, la minele de cărbune echipele de lucru vor plasa în vagonete mărci metalice pentru cîntărirea cantităţii de cărbune la gura minei, în cazul transportului cu vagonete. În cazul transportului cu benzi va fi evaluată cantitatea totală la gura minei.

Cantitatea la gura minei va fi corelată cu cantitatea livrată preparaţiilor (neconcordanţă provenită datorită conţinutului de steril)

Cu acest factor de corecţie (K), specific fiecărei luni, vor fi corectate cantităţile excavate de fiecare brigadă de mineri în parte.

Zăcăminte de minereu. Problema recepţiei şi evidenţei producţiei realizate este foarte dificilă datorită formei neregulate şi poziţiei în spaţiu a filonului. În această situaţie vor fi apreciate volumele prin descompunerea golurilor rezultate în forme geometrice simple, volume ce vor fi apoi corelate cu cantităţile la gura minei. În cazul abatajelor de minereu, producţia se evaluează, exclusiv, pe baza volumelor măsurate. Se urmăreşte în principal ridicarea topografică a conturului abatajului respectiv, contur ce se ridică, de regulă, prin metoda polară şi se figurează pe harta filonului. Suprafaţa abatajului se planimetrează.

Mai important este de determinat linia tavanului în abatajul respectiv, linie ce se determină prin nivelment geometric cu mira aşezată la tavan şi care va fi raportată pe secţiunea verticală a filonului.

În aceeaşi secţiune se va regăsi şi linia tavanului, corespunzător preluării anterioare. Volumul excavat în perioada interesată va rezulta ca produs între suprafaţa planimetrată a abatajului şi diferenţa de cotă dintre cele două preluări a liniei de tavan.

Evaluarea stocului. Stocurile se pot înmagazina în depozite sau pe platforme. Volumele sau cantităţile înmagazinate în stocuri pot fi uşor identificate la preluările lunare, deoarece depozitele au linii de gradare a volumelor corespunzătoare înmagazinărilor. Pentru cazul platformelor, stocurile de substanţă minerală utilă se vor constitui sub forma unor figuri geometrice şi calculate corespunzător volumelor. Pentru stocuri cu formă neregulată se vor ridica planuri topografice cu curbe de nivel cu echidistanţă de 0,5 sau 1 m, calculul efectuîndu-se prin metoda curbelor de nivel (metoda secţiunilor orizontale) sau prin metoda secţiunilor verticale.

4.3.5. EVALUAREA PRODUCŢIEI REALIZATE ÎN CARIERE

În cariere volumele excavate sînt mult mai mari decît în cazul exploatărilor miniere subterane. Evaluarea producţiei se va face şi în aceste condiţii la intervale indicate în cazul exploatărilor subterane.

În raport cu tipul de carieră, metoda de exploatare, posibilităţile de aplicare a metodelor de evaluare, sînt utilizate în principal: *metoda curbelor de nivel* şi *metoda secţiunilor*, metode care au aplicare direct topografică.

De remarcat faptul că metoda stereofotogrammetrică terestră face apel la metoda curbelor de nivel.

Metoda curbelor de nivel. Cunoscută şi sub denumirea de *metoda secţiunilor orizontale*, metoda curbelor de nivel constă, în ridicarea planului cu curbe de nivel cu echidistanţa de 1 m sau 5 m, în raport cu o cotă de referinţă unică şi stabilă, la intervale de timp de 1 de 3 sau 6 luni.

Diferenţa între curba de nivel la începutul intervalului şi curba de nivel de aceeaşi cotă la sfîrşitul intervalului va contura suprafaţa exploatată corespunzătoare curbei de nivel. Suprafaţa va fi planimetrată de cel puţin două ori. Volumul excavat va fi dat de suprafaţa medie între două curbe consecutive înmulţită cu echidistanţa (e) dintre curbele de nivel

$$V = e\,\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(S_i + S_{i+1}) \quad [\mathrm{m}^3] \qquad (4.148)$$

O variantă a acestei metode, des utilizată, este *metoda înălţimilor medii*. Metoda propune, ca şi în cazul precedent, determinarea tahimetrică a unui număr suficient de puncte de conturare a suprafeţei exploatate (S_i). Totodată se fac măsurători şi se determină cota medie a treptei (H_{mi-1}). Cunoscînd suprafaţa (S_i) şi cota medie (H_{mi}) a preluării anterioare, volumul rezultă din relaţia

$$V_{i,i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}(H_{mi} - H_{mi+1}) \quad [\mathrm{m}^3] \qquad (4.149)$$

suprafeţele S_i, S_{i+1} sînt determinate prin cel puţin două planimetrări (sau dacă se cunosc coordonatele punctelor de contur pot fi determinate analitic).

Volumul total se determină prin însumarea volumelor parţiale pe trepte, făcîndu-se distincţie între util şi steril

$$V = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(S_i + S_{i+1})(H_{mi} - H_{mi+1}) \qquad (4.149')$$

Metoda secţiunilor verticale. Aplicarea metodei în teren începe prin fixarea în carieră a unor profile transversale cu cariera, de preferinţă paralele între ele şi avînd tot de preferinţă o echidistanţă constantă e între 20—50 m. Materializarea în teren a profilelor se va face cu puncte fixe în afara zonei de exploatare stabilă, faţă de reţeaua topografică de sprijin a carierei

Măsurătorile constau în determinarea tahimetrică a unor puncte caracteristice din direcţia profilului în albia carierei, care vor fi raportate grafic pe secţiunile cu profilele respective.

Avînd măsurată şi linia albiei din preluarea precedentă, va rezulta, pe profilul i, suprafaţa S_i excavată în intervalul respectiv, care va fi planimetrată de cel puţin două ori*).

Volumul excavat între două profile (i şi $i+1$) va fi

$$V_{i,i+1} = e\,\frac{S_i + S_{i-1}}{2} \quad [\mathrm{m}^3] \qquad (4.150)$$

Volumul total va rezulta prin însumarea volumelor dintre profile.

*) Această prevedere este impusă în special de faptul că planimetrul are o eroare admisibilă de [illegible] care asigură o determinare acceptabilă a volumelor excavate.

4.4. STRĂPUNGERI MINIERE

Problemele miniere de străpungeri apar în cazul lucrărilor de proiectare a minelor noi sau de extindere a celor existente, ca şi în mai toate fazele de lucru în subteran privind deschiderea, pregătirea şi exploatarea zăcămintelor de substanţe minerale utile, oferind documentaţia grafo-analitică de punere în operă a elementelor proiectate.

4.4.1. STRĂPUNGEREA ÎNTRE DOUĂ PUNCTE TOPOGRAFICE

Pentru proiectarea legăturii între două puncte topografice în subteran este necesar a fi cunoscute coordonatele şi cotele celor două puncte. Presupunînd că legătura respectivă este un preabataj, elementele topografice ce trebuiesc cunoscute sînt: reteaua topografică plannimetrică în zona respectivă şi reţeaua nivelitică (fig. XV.73).

Aceste elemente vor fi: — pentru galeria *5* punctul $\overset{\odot}{|}501$ (x_{501}, y_{501}) orientarea $\theta_{501,502}$ şi cota reperului nivelitic R_{n5}: H_5.

pentru galeria *b* punctul $\overset{\odot}{|}601$ (x_{601}, y_{601}), orientarea, $\theta_{601,602}$ şi cota reperului nivelitic R_{n6}: H_6. Punctele de capăt ale străpungerii se stabilesc în subteran, prin coordonatele lor. În oricare din cazuri se va face poziţionarea punctelor în subteran prin măsurarea sau impunerea distanţei orizontale pînă la punctele de atac. Punctele de străpungere S_1 şi S_2 vor avea coordonate

$$\overset{\odot}{|}S_1 \begin{cases} x_1 = X_{501} + a\cos\theta_{501,502} \\ y_1 = Y_{501} + a\sin\theta_{501,502} \end{cases}$$

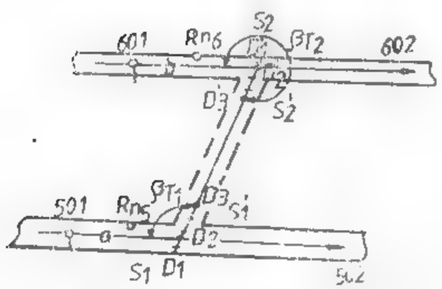


Fig. XV.73. Legătura între două puncte.

$$\overset{\odot}{|}S_2 \begin{cases} x_2 = X_{601} + b\cos\theta_{601,602} \\ y_2 = Y_{601} + b\sin\theta_{601,602} \end{cases} \qquad (4.151)$$

Se stabilesc prin nivelment geometric de la mijloc cotele la vatră ale punctelor de atac ale străpungerii

$$H_1 = H_{Rn_5} + l_{Rn_5} - l_{S_1}$$

$$H_2 = H_{Rn_5} + l_{Rn_5} - l_{S_2} \qquad (4.152)$$

Se calculează orientarea străpungeri θ_{12} cu una din relaţiile

$$\mathrm{tg}\,\theta_{12} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y_{1,2}}{\Delta x_{1,2}}$$

$$\mathrm{ctg}\,\theta_{12} = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} = \frac{\Delta x_{1,2}}{\Delta y_{1,2}} \qquad (4.153)$$

şi se verifică cu una din relaţiile

$$\mathrm{tg}\,(\theta_{12} - 50^g) = \frac{\Delta x_{12}}{\Delta x_{12}} = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta y_{12}} \qquad (4.154)$$

$$\mathrm{ctg}\,(\theta_{12} - 50^g) = \frac{\Delta x_{12}}{\Delta y_{12}} = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta y_{12}}$$

Elementele de trasare ale galeriei după direcţie vor fi unghiurile de trasare β_{T_1} β_{T_2} ce se vor măsura în punctele de atac ale străpungerii S_1 respectiv S_2, avînd mărimile

$$\beta_{T_1} = \theta_{12} - \theta_{502,501} \qquad (4.155)$$

$$\beta_{T_2} = \theta_{21} - \theta_{602,601} \qquad (4.156)$$

În cazul cînd lucrarea proiectată este plan înclinat, atunci vor fi proiectate refugii pe direcţia străpungerii, prin calculul unor puncte retrase (S_1', S_2') pe direcţia aliniamentului, la distanţele d_1 şi d_2 impuse de normele de proiectare

$$\overset{\odot}{|}S_1' \begin{cases} X_{S_1'} = X_{S_1} + d_1'\cos\theta_{12} \\ Y_{S_1'} = Y_{S_1} + d_1'\sin\theta_{12} \\ H_{S_1'} = H_{S_1} \end{cases} \qquad (4.157)$$

$$\overset{\odot}{|}S_2' \begin{cases} X_{S_2'} = X_{S_2} + d_2'\cos\theta_{21} \\ Y_{S_2'} = Y_{S_2} + d_2'\sin\theta_{21} \\ H_{S_2'} = H_{S_2} \end{cases} \qquad (4.158)$$

În ambele cazuri se va săpa din galerie 2—3 m, după care vor fi materializate pentru direcţie cel puţin 3 fire topografice (provizorii), plasate atît în faţă cît şi în spatele punctului de staţie: D_1, D_2, D_3, şi D_1', D_2', D_3', fire cu care va fi condusă, după direcţie, în continuare galeria în săpare. Din cînd în cînd se revine cu aparatul în staţie şi se prelungeşte direcţia prin plantarea altor puncte de direcţie, mai aproape de frontul de lucru.

Aşezarea susţinerii faţă de direcţia firului cu plumb se face la distanţă *a* (denumită *abştig*), ce se menţine constantă pe toată durata efectuării lucrării (fig. XV.74).

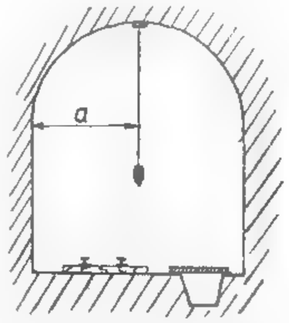


Fig. XV.74. Conducerea după direcţie a lucrărilor miniere orizontale.

Totodată vor fi calculate elementele de conducere a lucrării miniere şi după pantă sau după înclinarea proiectată, în baza următoarelor calcule. Diferenţa de nivel dintre punctele S_1 (S_1') şi S_2 (S_2') va fi:

$$\Delta h_{12} = H_{S_2} - H_{S_1} \qquad (4.159)$$

Lungimea reală a străpungerii

$$l_{12} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2 + \Delta h_{12}^2} \qquad (4.160)$$

Lungimea orizontală a străpungerii

$$s_{12} = \frac{\Delta x_{12}}{\cos \theta_{12}} = \frac{\Delta y_{12}}{\sin \theta_{12}} = \sqrt{\Delta x_{12}^2 + \Delta y_{12}^2} \qquad (4.161)$$

Fig. XV.75. Lat de pantă.

Panta lucrării minere (galeriei)

$$p_{\%} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 100 \text{ sau } p_{0/00} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}} \cdot 1000 \qquad (4.162)$$

Sau inclinarea lucrării miniere (plan înclinat, suitoare)

$$\operatorname{tg} \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{s_{12}}; \quad \sin \varphi_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{l_{12}}; \quad \cos \varphi_{12} = \frac{s_{12}}{l_{12}} \qquad (4.163)$$

Pentru galerii de înclinare mică conducerea în săpare se va face cu ajutorul latului de pantă (fig. XV.75) (din lemn) ce va avea lungimea L de 2 m sau 3 m cu un pinten metalic a cărui înălțime p_i este funcție de pantă, și un boloboc pentru orizontalizare.

$$p_i = \frac{L \cdot p_{\%}}{100} \quad \text{sau} \quad p_i = \frac{L \cdot p_{0/00}}{1000} \qquad (4.164)$$

Latul de pantă se asază pe șina de cale, sau pe vatră, cu pintenul înspre frontul de lucru pentru pantă și cu pintenul în spatele frontului de lucru pentru rampă

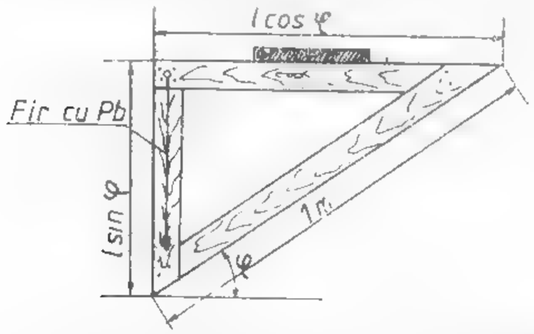


Fig. XV.76. Echer de înclinare (pantă).

Pentru planele înclinate și suitori va fi confectionat din lemn un echer de înclinare (fig. XV.76) avînd o ipotenuză de 1 m. Catetele vor fi calculate corespunzător unghiului de înclinare al lucrării miniere.

Pentru utilizarea corectă a echerului de înclinare se va orizontaliza o latură cu ajutorul unui boloboc sau se va verticaliza cealaltă latură cu ajutorul unui fir cu plumb conform fig. XV.76.

În cazul planelor înclinate, echerul de pantă se așază cu ipotenuza pe vatra lucrării minere sau pe linia de cale, iar pentru suitori se așază direct pe armătură la vatră, controlîndu-se cu el totodată perpendicularitatea granturilor.

4.4.2. RACORDAREA ALINIAMENTELOR

Este o lucrare de străpungere cu curbă circulară între două aliniamente, la care trebuie îndeplinită condiția de continuitate a traseului necesar circulației la transportul cu vagonete (fig. XV.77).

Elementul prioritar este raza curbei de racordare R impusă de obiectul transportului, viteza de circulație, ecartament etc.

Rezolvarea racordării din punct de vedere topografic impune:

- cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului I $\theta_I = \theta_{501,502}$;
- cunoașterea sau calculul orientării aliniamentului II $\theta_{II} = \theta_{601,602}$
- unghiul de vîrf ω rezultat din diferența $\omega = \theta_{II} - \theta_I$
- tangenta curbei de racordare $t = R \operatorname{tg} \omega$
- calculul coordonatelor vîrfului curbei de racordare prin intersecție înainte

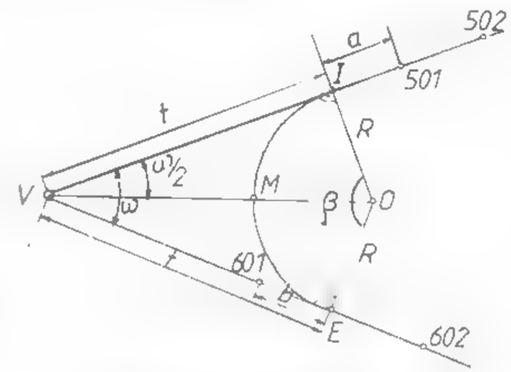


Fig. XV.77. Racordarea cu curbe circulare a aliniamentelor subterane

$$x_V = \frac{y_{601} - y_{501} + x_{501} \operatorname{tg}(\theta_I + 200^g) - x_{601} \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^g)}{\operatorname{tg}(\theta_I + 200^g) - \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^g)}$$

$$y_V' = y_{501} + (x_V - x_{501}) \operatorname{tg}(\theta_I + 200^g) \qquad (4.165)$$

$$y_V'' = y_{601} + (x_V - x_{601}) \operatorname{tg}(\theta_{II} + 200^g)$$

$$y_V = \frac{y_V' + y_V''}{2}$$

- calculul din coordonate a distanței $\overline{V - 501}$ și $V - 601$ cu relațiile (4.161), în care se va scădea tangenta la curbă t, rezultînd (a și b), distanțele pînă la punctele de intrare respectiv ieșire din curbă
  - dacă distanța rezultă pozitiv atunci pînă la punctul de atac mai este de săpat (ex: a)
  - dacă distanța rezultă negativ atunci punctul de atac se găsește în spatele ultimului punct din frontul de lucru (ex: b);
- calculul coordonatelor punctului I de intrare în curbă

$$\text{pt. } I \begin{cases} x_I = x_{501} + a \cos(\theta_I \pm 200^g) \\ y_I = y_{501} + a \sin(\theta_I \pm 200^g) \end{cases} \qquad (4.166)$$

calculul coordonatelor punctului de ieşire din curbă

$$P_E \begin{cases} x_E = x_{601} + b \cos \theta_{II} \\ x_E = y_{601} + b \sin \theta_{II} \end{cases} \quad (4.167)$$

calculul cotei punctelor de intrare şi ieşire din curbă se face iniţial prin calculul cotei la vatră a punctelor *501* şi *601*

Astfel:

$$H_I = H_{501} + a \frac{p_{I\,0/00}}{1000}$$

$$H_{II} = H_{601} + b \frac{p_{II\,0/00}}{1000} \quad (4.168)$$

– calculul pantei pe galerie rezultată prin procedeul şi relaţiile (4.162)

– calculul lungimii orizontale l a curbei de racordare se face notînd

$$\beta = 200^g - \omega$$

$$l = \frac{2\pi R}{400}(200^g - \omega)$$

sau: (4.169)

$$l = \frac{\pi R}{200^g} \cdot \beta$$

– calculul pantei curbei de racordare

$$p_{0/00} = \frac{H_I - H_E}{l} 1000 \quad (4.170)$$

calculul lungimii reale L a curbei de racordare

$$L = \sqrt{l^2 + (H_I - H_E)^2} \quad (4.171)$$

Conducerea în săpare a lucrărilor miniere curbe. Elementele de proiectare a lucrării miniere în curbă vor fi raportate pe un plan la o scară cît mai mare (1: 20).

Pe acelaşi plan va fi raportat conturul pereţilor laterali ai galeriei conform tipului şi monografiei de susţinere (fig. XV.78).

În zona ramificaţiei, la trecerea de la galeria dreaptă la curbă, va fi trasat pintenul lucrării în lăţime de 0,50 m, în poziţie simetrică faţă de cele două lucrări. Din punctul I în punctul E va trebui împărţită curba sub forma unui poligon cu laturi egale în interiorul conturului galeriei (lucru ce se realizează prin tatonare, urmărind obţinerea minimului de coarde). Elementele de trasare conform figurii vor fi:

– unghiurile de trasare

$$\beta_{TI} = \beta_{TE} = 200^g + \frac{1}{2}\beta/3 \quad (4.172)$$

$$\beta_{T_1} = \beta_{T_2} = 200^g + \beta/3 \quad (4.173)$$

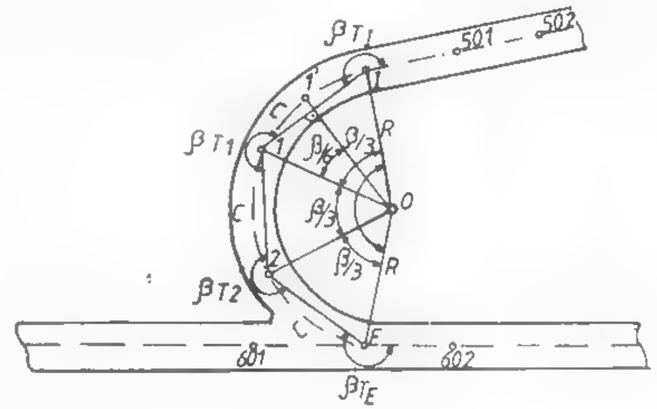


Fig. XV.78. Planul de trasare a galeriei în curbă.

coardele de trasare

$$c = 2R \sin \frac{1}{2} \beta/3 \quad (4.174)$$

În subteran se va proceda la săparea a 2–3 m de galerie fără o conducere riguroasă, după care se va staţiona cu aparatul într-un punct de staţie (ex. I) şi se va viza direcţia coardei cu unghiul de trasare calculat (β_{TI}) direcţie ce se va materializa prin cel puţin 3 fire cu plumb.

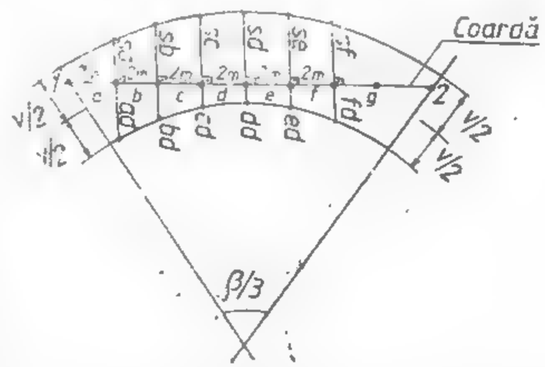


Fig. XV.79. Trasarea lucrărilor miniere curbe.

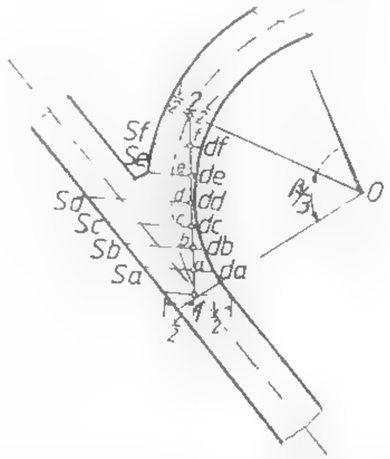


Fig. XV.80. Trasarea ramificaţiilor.

Aşezarea în galerie a susţinerii se va face faţă de această direcţie, prin *metoda coordonatelor rectangulare pe coardă*. Astfel, pe un plan la o scară cît mai mare (1:20) se va raporta numai sectorul de cerc interesat cu elementele de trasare ale pereţilor galeriei, direcţia şi lungimea coardei (fig. XV.79 şi 80)

Practic coarda va fi împărțită în segmente de 1 sau 2 m, la capătul cărora vor fi trasate perpendiculare. Vor fi măsurate grafic și transpuse la scară mărimile distanțelor de la coardă pînă la pereți, mărimi ce vor fi înscrise corespunzător în alara galeriei. Modelul rămîne valabil pentru toate sectoarele identice ale galeriei curbe.

În cazul armăturilor individuale (lemn, metalice), cadrele trebuie să convearge către centrul curbei, caz în care se vor plasa grafic armăturile în mod radial, cu o distanță maximă (cîmpul mare) la peretele lateral exterior ce nu va depăși 1,00 m. Va fi calculată — sau măsurată — distanța între armături la peretele interior(cîmpul mic), în rest procedeul fiind asemănător.

În cazul ramificațiilor (fig. XV.80) procedeul este identic, adică pe la [illegible] respective.

Din punct de vedere nivelitic lucrarea va fi dirijată cu ajutorul latului de pantă confecționat și utilizat corespunzător.

4.4.3. PROBLEME DE TOPOGRAFIE MINIERĂ

Sub această denumire sînt întîlnite o serie de străpungeri miniere cu condiții inițiale ce au importante aplicații în practica minieră la proiectarea lucrărilor miniere orizontale, înclinate, verticale, probleme de minim. Aceste probleme sînt grupate astfel încît rezolvarea să fie unică pentru multe din ele, cum ar fi: intersecția lucrărilor miniere cu straie, intersecții pe straie, probleme ce se reduc la intersecții de drepte și plane în spațiu. În practica minieră, elementele de definire ce caracterizează o lucrare minieră sînt: un punct P_1 (x_1, y_1, z_1) de pe axa unei galerii, θ_1 orientarea axei și înclinarea φ_1 a axei. Practic elementele de definire a unei drepte sînt: D_1 $[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$.

Ecuația unei drepte ce trece printr-un punct, de direcție și înclinare, are forma

$$(D_1) \quad \frac{x - x_1}{\alpha_1} = \frac{y - y_1}{\beta_1} = \frac{z - z_1}{\gamma_1} = \lambda \qquad (4.175)$$

unde: $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ — sînt cosinușii directori ai dreptei adică

$\alpha_1 = \pm \cos\varphi_1 \cos\theta_1$; $\beta_1 = \pm \cos\varphi_1 \sin\theta_1$ (4.176), $\gamma_1 = \pm \sin\varphi_1$; λ = parametru. (4.177)

Vectorul unitar $\overline{\rho}_1$ al dreptei D_1, ce caracterizează direcția dreptei, are forma

$$\overline{\rho}_1 = \alpha_1 i + \beta_1 j + \gamma_1 k \qquad (4.178)$$

unde: i, j, k — sînt versori unitari corespunzători axelor x, y și z.

Considerînd în mod corespunzător o altă dreaptă D_2, atunci unghiul ω dintre ele două drepte este dat de

$$\cos\omega = \alpha_1\alpha_2 + \beta_1\beta_2 + \gamma_1\gamma_2 \qquad (4.179)$$

sau în mod corespunzător

$$\cos\omega = \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) + \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 \qquad (4.180)$$

Un plan (Q) este individualizat printr-un punct $P_0(x_0, y_0, z_0)$, orientarea θ_p care este direcția orientării unei orizontale a planului și înclinarea Γ a planului care

este unghiul de înclinare a liniei de cea mai mare pantă. Recapitulînd, planul (Q) este dat de $[P_0(x_0, y_0, z_0)\ \theta_p, \Gamma]$.

Ecuația unui plan (Q) ce conține punctul $P_0(x_0, y_0, z_0)$ și este perpendicular pe o dreaptă dată (normal la plan) ai cărui cosinuși directori sînt α, β și γ, echivalenți cu α_p, β_p, și respectiv γ_p, este dată de relația:

$$(Q) \quad \alpha_p(x - x_0) + \beta_p(y - y_0) + \gamma_p(z - z_0) = 0 \qquad (4.181)$$

în care: $\alpha_p = \pm \sin\Gamma \sin\theta_p$

$$\beta_p = \mp \sin\Gamma \cos\theta_p \qquad (4.182)$$

$$\gamma_p = \cos\Gamma$$

Făcîndu-se uz de aceste cunoștințe generale, pot fi rezolvate o serie de probleme topografice minere.

4.4.3.1. Cea mai scurtă galerie de la un punct la o altă galerie

Fie un punct cunoscut P_2 (x_2, y_2, z_2) de la care să se ducă cea mai scurtă galerie la o lucrare minieră cunoscută D_1 $(P_1, \varphi_1, \theta_1)$.

Condiția ca dreapta să fie cea mai scurtă impune ca lucrarea proiectată să fie conținută într-un plan la care să fie normală dreapta cunoscută (D_1); fie acest plan planul (S) care conține punctul P_1 și care va avea ca normală dreapta (D_1). Ecuația planului este

$$(S) \quad (x - x_2)\alpha_1 + (y - y_2)\beta_1 + (z - z_0)\gamma_1 = 0 \qquad (4.183)$$

unde α, β și γ — sînt cosinușii directori ai normalei la planul (S), respectiv ai dreptei (D_1) obținuți din relațiile (4.182).

x, y și z — sînt coordonatele punctului unde dreapta înțeapă planul sau punctul unde dreapta proiectată întîlnește galeria (D_1) cunoscută.

Scriind ecuația dreptei conform relației (4.185) și descompunînd se obține

$$\begin{cases} x = x_2 + \lambda\alpha_1 \\ y = y_2 + \lambda\beta_1 \\ z = \lambda\gamma_1 \end{cases} \qquad (4.184)$$

care înlocuite în ecuația planului (Q)

$$(x_2 + \lambda\alpha_1 - x_0)\alpha_p + (y_2 + \lambda\beta_1 - y_0)\beta_p + (z_2 + \lambda\gamma_1 - z_0)\gamma_p = 0 \qquad (4.185)$$

singura necunoscută fiind parametrul λ care rezultă

$$\lambda = \frac{(x_0 - x_2)\alpha_p + (y_0 - y_2)\beta_p + (z_0 - z_2)\gamma_p}{\alpha_1\alpha_p + \beta_1\beta_p + \gamma_1\gamma_p} = \frac{d}{\cos\omega} \qquad (4.186)$$

Cum însă normala la plan coincide cu dreapta cunoscută (D_1), rezultă că

$$\alpha_1\alpha_p + \beta_1\beta_p + \gamma_1\gamma_p = 1$$

deci $\cos\omega = 1$; $\omega = 0$

atunci:

$\lambda = d =$ distanţa pe normală dată de

$$\lambda = d = (x_0 - x_2)\alpha_p + (y_0 - y_2)\beta_p + (z_0 - z_2)\gamma_p \qquad (4.187)$$

care înlocuită în ecuaţia dreptei (5.184) va reda mărimile coordonatelor x, y şi z unde dreapta înţeapă planul, deci unde dreapta proiectată întîlneşte galeria (D_1).

Cu aceste coordonate pot fi calculate

orientarea dreptei cu relaţia (4.153),
lungimea orizontală a dreptei (4.161),
diferenţa de nivel între capetele lucrării proiectate (4.169);
lungimea reală a dreptei (4.160)
înălţimea lucrării miniere proiectate (4.163).

4.4.3.2. Intersecţia dintre o galerie şi un zăcămînt

Geometric problema rezolvă intersecţia dintre o dreaptă D_1 [$P_1(x_1, y_1, z_1)$, θ_1, φ_1] şi un plan Q [$P_0(x_0, y_0, z_0)$, θ_p, V].

Ecuaţia planului conform relaţiei (5.181) este cunoscută, cosinuşii directori ai planului fiind cosinuşii directori ai normalei la plan (4.182).

Ecuaţia dreptei (D_1) este dată de (4.175), în care cosinuşii directori sînt daţi de (4.176). Ca dreapta să intersecteze planul, înseamnă că punctul curent al dreptei $P(x, y, z)$ verifică atît ecuaţia dreptei (4.175) cît şi a planului (4.181). Se vor înlocui ecuaţiile (4.184) în ecuaţia planului (4.181), rezultînd de aici mărimea parametrului λ (4.186) în care d este distanţa de la punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ aparţinînd dreptei şi punctul de intersecţie cu planul $P(x, y, z)$, deci lungimea galeriei pe dreapta D_1; λ reprezentînd distanţa pe normală ce conţine punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$, iar ω este unghiul format de galeria cunoscută şi normala la plan.

Coordonatele punctului de intersecţie $P(x, y, z)$ vor rezulta înlocuind parametrul λ (4.186) în sistemul de ecuaţii (4.184).

Modul de rezolvare a acestei probleme conduce la rezolvarea altor probleme privind condiţionarea poziţiei acestei drepte faţă de plan.

Astfel, dreapta proiectată ce conţine punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ trebuie să fie cea mai scurtă la zăcămînt şi orizontală; aceasta se exprimă astfel

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g \qquad (4.188)$$

$$\varphi_1 = 0 \qquad (4.189)$$

rezultă astfel că $\gamma_1 = 0$ şi ca atare

$$\lambda = \frac{d}{\cos\omega} \qquad (4.190)$$

iar

$$\omega = 100 - V; \ \lambda = \frac{d}{\sin V}$$

impunînd aceste condiţii şi verificări, procedeul rămîne acelaşi ca în cazul expus rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$.

Sau alt caz, ca *dreapta proiectată să fie cea mai scurtă la zăcămînt*. Aceasta înseamnă că dreapta proiectată să fie normală la zăcămînt

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g; \quad \varphi_1 = 100 - V \qquad (4.191)$$

Cosinuşii directori ai dreptei sînt identici cu cosinuşii directori ai planului

$$\alpha_1 = \alpha_p; \ \beta_1 = \beta_p; \ \gamma_1 = \gamma_p$$

$$\alpha_1\alpha_p + \beta_1\beta_p + \gamma_1\gamma_p = 1$$

$$\cos\omega = 1; \ \omega = 0$$

şi atunci

$$\lambda = (x_1 - x_0)\alpha_p + (y_1 - y_0)\beta_p + (z_1 - z_0)\gamma_p = d \qquad (4.192)$$

care se înlocuieşte în (4.184), rezultînd coordonatele punctului unde cea mai scurtă galerie întîlneşte zăcămîntul.

O altă condiţie ar fi aceea ca *dreapta să fie cea mai scurtă la zăcămînt:*

$$\theta_1 = \theta_p \pm 100^g$$

şi să aibă o înclinare φ_1; în aceste condiţii se va rezolva ca

$$\lambda = \frac{d}{\cos\omega}$$

şi ca verificare

$$\omega = 100 - (V \pm \varphi_1)$$

Parametrul λ se calculează corespunzător relaţiei (4.186) şi se înlocuieşte în (4.184), rezultînd coordonatele punctului $P(x, y, z)$, unde dreapta cea mai scurtă de înclinare φ_1 întîlneşte zăcămîntul.

Şi în fine, dacă dreapta (D_1) se impune a fi verticală

$$\varphi_1 = 100^g$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = 0 \\ \beta_1 = 0 \\ \gamma_1 = 1 \end{cases}$$

procedeul este acelaşi, iar pentru control λ rezultat va satisface relaţia:

$$\lambda = \frac{d}{\cos\omega}$$

$$\omega = V$$

Coordonatele x şi y sînt identice cu x_1 şi respectiv y_1, iar z se determină cu λ prin înlocuirea în (4.184). Rezultă astfel punctul unde un puţ vertical ce conţine punctul $P_1(x_1, y_1, z_1)$ întîlneşte zăcămîntul Q în $P(x_1, y_1, z)$.

4.4.3.3. Intersecţia dintre o falie şi un zăcămînt

Reprezintă din punct de vedere geometric intersecţia dintre două plane, rezultînd o linie de intersecţie. Ca două plane să se intersecteze, trebuie ca ele să nu fie paralele sau să se confunde şi aceasta poate fi uşor sesizat prin neegalitatea cosinusilor directori ai normalelor la plan. În general, ecuaţia planului (Q) ce trece prin trei puncte $P_1(x_1, y_1, z_1)$, $P_2(x_2, y_2, z_2)$ şi $P_3(x_3, y_3, z_3)$ are forma

$$(Q) = \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ x - x_3 & y - y_3 & z - z_3 \end{vmatrix} = 0 \qquad (4.193)$$

unde x, y şi z — sînt coordonatele curente ale planului.

Sau ecuaţia unui plan (Q) care trece printr-un punct $P_1(x_1, y_1, z_1)$ şi este paralel la două direcţii date, prin cosinuşii directori respectivi $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$; $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$,

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \qquad (4.194)$$

ori făcînd notaţiile:

$$\begin{aligned} A &= \beta_1\gamma_2 - \beta_2\gamma_1 = \beta\gamma_{.12} \\ B &= \gamma_1\alpha_2 - \gamma_2\alpha_1 = \gamma\alpha_{.12} \\ C &= \alpha_1\beta_2 - \alpha_2\beta_1 = \alpha\beta_{.12} \end{aligned} \qquad (4.195)$$

se obţine ecuaţia generală a planului (Q):

$$(Q)\ A(x - x_1) + B(y - y_1) + C(z - z_1) = 0 \qquad (4.196)$$

Sau, sub o altă formă, notînd cu:

$$D_1 = -Ax_1 - By_1 - Cz_1$$

se va o bţine o altă ecuaţie generală a planului

$$(Q)\ Ax + by + Cz + D = 0 \qquad (4.196')$$

în care: A, B şi C — sînt parametrii directori ai normalei la plan sau, ecuaţia normală a planului

$$(Q)\ (x - x_1)\alpha_p + (y - y_1)\beta_p + (z - z_1)\gamma_p = 0 \qquad (4.197)$$

care s-a obţinut prin împărţirea ecuaţiei generale (4.196) cu

$$\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$$

iar rapoartele:

$$\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \alpha_p; \quad \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \beta_p; \quad \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \gamma_p \qquad (4.198)$$

sînt tocmai cosinuşii directori ai normalei la plan sau cosinuşii directori ai planului (Q).

Ecuaţia (4.194) mai poate fi considerată ca ecuaţia planului, care cuprinde o dreaptă şi este paralel la o a doua dreaptă. Dacă într-adevăr punctul P_1, prin care trece planul, se găseşte pe dreapta (D_1) şi această dreaptă este paralelă cu planul, înseamnă deci că se găseşte cuprinsă în plan.

Scriind ecuaţiile planelor sub formă generală

$$\begin{cases} (Q) & A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0 \\ (P) & A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0 \end{cases} \qquad (4.199)$$

prin rezolvarea sistemului format se obţine linia de intersecţie a celor două plane. Pentru a se determina elementele dreptei de intersecţie şi anume orientarea θ_i şi înclinarea φ_i, se va scrie dreapta sub forma

$$\frac{x - x_0}{\alpha_i} = \frac{y - y_0}{\beta_i} = \frac{z - z_0}{\gamma_i} \qquad (4.200)$$

În sistemul de ecuaţii (4.201) se observă că sînt două ecuaţii cu trei necunoscute unde poate fi dată o valoare arbitrară uneia din necunoscute, exemplu $(z = z_0)$ rezultînd apoi celelalte necunoscute: $(x = x_0)$ şi $(y = y_0)$, deduse din calcul. Analizînd determinanţii minori din

$$\begin{pmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \end{pmatrix} \qquad (4.201)$$

se poate conclude pentru care necunoscută se poate lua valoarea arbitrară.

Procedînd aşa cum s-a arătat, va rezulta $P_0(x_0, y_0, z_0)$ care va fi comun atît planelor (Q) şi (P) cît şi liniei de intersecţie (D_0). Alegînd o altă valoare arbitrară a necunoscutei z, va rezulta un punct $P_3(x_3, y_3, z_3)$ care va fi de asemenea comun, atît planelor (Q) şi (P) cît şi dreptei (D_0). Elementele dreptei (D_0) vor fi deduse cu relaţiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161), (4.163).

În altă ordine de idei, după găsirea punctului $P_0(x_0, y_0, z_0)$ pot fi scrise ecuaţiile planelor (Q) şi (P) ce conţin punctul comun P_0.

$$\begin{aligned} (Q)\ & (x - x_0)A_1 + (y - y_0)B_1 + (z - z_0)C_1 = 0 \\ (P)\ & (x - x_0)A_2 + (y - y_0)B_2 + (z - z_0)C_2 = 0 \end{aligned} \qquad (4.202)$$

Şi aceste două ecuaţii reprezintă linia de intersecţie.

Dacă se împarte sistemul cu $(z - z_0)$ şi se rezolvă în raporturile

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} \text{ şi } \frac{y - y_0}{z - z_0}$$

se obţine

$$\frac{x - x_0}{z - z_0} = \frac{D_1}{D_3}; \quad \frac{y - y_0}{z - z_0} = \frac{D_2}{D_3} \qquad (4.203)$$

unde D_1, D_2, D_3 — sînt determinanţii minori.

Din (4.203) rezultă

$$\frac{x - x_0}{D_1} = \frac{y - y_0}{D_2} = \frac{z - z_0}{D_3} \tag{4.204}$$

deci dreapta de intersecţie a fost pusă sub forma caracteristică, cu deosebirea că D_1 D_2 şi D_3 sînt parametrii directori ai dreptei.

Pentru a obţine cosinuşii directori ai dreptei, trebuie să existe

$$\alpha_1 = \frac{D_1}{D}\ ;\ \beta_1 = \frac{D_2}{D}\ ;\ \gamma_1 = \frac{D_3}{D} \tag{4.205}$$

unde:

$$D = \sqrt{D_1^2 + D_2^2 + D_3^2} \tag{4.206}$$

Ţinînd seama de

$$\alpha_i = \pm \cos\varphi_i \cos\theta_i\ ;\ \beta_i = \pm \cos\varphi_i \sin\theta_i\ ;\ \gamma_i = \sin\varphi_i \tag{4.207}$$

rezultă elementele de definire ale dreptei de intersecţie

$$\operatorname{tg}\theta_i = \frac{\beta_i}{\alpha_i} = \frac{D_2}{D_1} \quad \text{rezultă } \theta_i \tag{4.208}$$

sau

$$\sin\varphi_i = \gamma_i$$

şi

$$\cos\varphi_i = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2} \quad \text{rezultă } \varphi_i \tag{4.209}$$

4.4.3.4. Lucrare minieră de legătură dintre două galerii cunoscute

Cunoscînd galeria $D_1[P_1(x_1, y_1, z_1), \theta_1, \varphi_1]$ şi galeria D_2 $P_2(x_2, y_2, z_2), \theta_2, \varphi_2]$ se urmăreşte determinarea celei mai scurte galerii MN, adică perpendiculara comună prin identificarea coordonatelor (x_M, y_M, z_M) ale punctului M ce se găseşte pe galeria D_1 şi coordonatele punctului $N(x_N, y_N, z_N)$ ce se găseşte pe galeria D_2.

Ecuaţia planului Q care conţine dreapta D_1 ale cărei cosinuşi directori (4.176) sînt α_1, β_1, γ_1, şi paralel cu dreapta D_2 ale cărei cosinuşi directori (4.176) sînt α_2, β_2 γ_2 este:

$$(Q) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \tag{4.210}$$

Ecuaţia planului P ce conţine dreapta D_2 şi este paralel la dreapta D_1 va fi

$$(P) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \end{vmatrix} = 0 \tag{4.211}$$

Este evident că planele (Q) şi (P) sînt paralele, ca atare dreapta căutată MN va fi perpendiculara comună, care deocamdată va fi identificată prin intersecţia a două plane: R (care cuprinde dreapta (D_1) şi este perpendicular pe planul Q) şi S (care cuprinde dreapta (D_2) şi este perpendicular pe planul Q) şi totodată şi pe P.

Ecuaţiile celor două plane vor fi:

$$(R) \begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \tag{4.212}$$

$$(S) \begin{vmatrix} x - x_2 & y - y_2 & z - z_2 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ [\beta\gamma]_{12} & [\gamma\alpha]_{12} & [\alpha\beta]_{12} \end{vmatrix} = 0 \tag{4.213}$$

sumele simbolice din [ ] sînt cele din formula (4.195).

Intersecţia planului (R) cu planul (S) este tocmai dreapta căutată care, intersectată cu planul (Q), defineşte punctul M, iar intersectată cu planul P defineşte punctul N. Aşadar, prin rezolvarea sistemului de ecuaţii $(R) = 0$, $(S) = 0$ şi $(Q) = 0$ rezultă coordonatele x_M, y_M, z_M caracterizînd punctul M, iar din rezolvarea sistemului de ecuaţii $(R) = 0$, $(S) = 0$ şi $(P) = 0$ se definesc coordonatele x_N, y_N, z_N ale punctului N.

Cu aceste coordonate se definesc toate elementele dreptei MN folosind relaţiile (4.153), (4.159), (4.160), (4.161) şi (4.163).

4.5. STUDIUL COMPORTĂRII SUPRAFEŢEI SUB INFLUENŢA SPAŢIULUI SUBTERAN EXPLOATAT

În urma exploatării în subteran a zăcămintelor de substanţe minerale utile, se creează goluri, determinînd o schimbare în echilibrul tensiunilor din rocile înconjurătoare. Reechilibrarea acestor tensiuni determină o serie de mişcări în rocile înconjurătoare, mişcări ce se resimt pînă la suprafaţa zonei respective.

Studiul acestor influenţe este necesar pentru punerea în evidenţă şi luarea măsurilor corespunzătoare privind protecţia construcţiilor şi a apelor ce pot inunda subteranul. Rezultatele studiilor pot fi totodată utilizate în prognozarea influenţei la suprafaţă a spaţiului subteran exploatat, în bazine miniere asemănătoare cu cele deja studiate.

4.5.1. CONSTITUIREA STAŢIILOR TOPOGRAFICE DE URMĂRIRE

Staţiile topografice de urmărire a deplasării suprafeţei sub influenţa spaţiului subteran exploatat sînt constituite din aliniamente longitudinale şi transversale de urmărire.

Lungimea aliniamentelor este funcţie de poziţia, grosimea, adîncimea şi extinderea zăcămintelor subterane.

Pentru aliniamentele transversale, lungimea unui aliniament se stabileşte prin întocmirea unei secţiuni (fig. XV.81) suprafaţă-subteran transversale pe zăcământ, pe care vor fi măsurate grafic H_A, H_B, H_C, L_E.

Lungimea aliniamentului transversal este dată de

$$L_{tr} = 30 \text{ m} + (0{,}35 \operatorname{ctg} \beta_0) H_A \quad L_{tr} \cos \alpha + (\operatorname{ctg} \beta_0 \quad 0{,}25) H_B \quad 30 \text{ m}$$

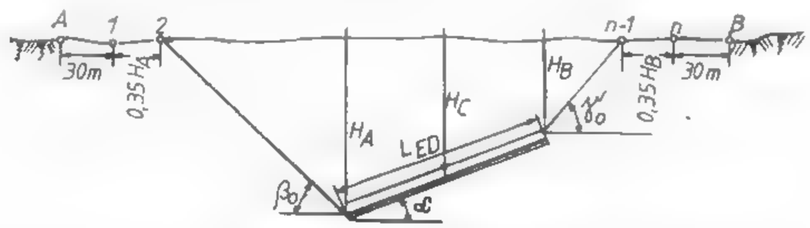


Fig. XV.81. Proiectarea lungimilor aliniamentelor de urmărire.

în care: L este înclinarea stratului

$$\beta_0 = \beta - 18^\circ + 1{,}5\alpha$$

$$\gamma_0 \quad \gamma \quad 1{,}5^\circ \tag{4.214}$$

Valorile unghiurilor β, γ şi δ au fost stabilite experimental la zăcăminte asemănătoare.

Lungimea aliniamentului direcţional se determină cu relaţia

$$L_d = 2 \cdot 30 \text{ m} + (0{,}25 + \operatorname{ctg} \gamma_0) H_C + 0{,}5 \; L_{ED}] \tag{4.215}$$

în care L_{ED} este lungimea direcţională de exploatare.

Capetele aliniamentului vor fi considerate ca puncte de sprijin şi vor fi bornate. Punctele curente din fiecare aliniament vor fi amplasate la o distanţă de aproximativ 20 m, marcate prin şini metalice de cîte 1 m, bătute în sol la nivelul suprafeţei. Poziţia iniţială de interdistanţă (20 m) va fi marcată prin chernăruire. Trasarea staţiei va fi făcută conform secţiunii transversale şi longitudinale, care va consta în colimaritatea reperelor şi a chernăruirilor.

După o perioadă de timp, vor începe operaţiile de măsurare biannuală, în care prima măsurătoare va fi considerată măsurătoare „zero" cu elementele înscrise în tabelul XV.5.

Tabelul XV.5

Măsurătoarea „zero"

Cotă punct i	Punct		Dist. orizontală D_0^*, $i, i+1$
	i	$i+1$	
100,000	A	1	26,913
86,250	1	2	20,580
80,608	2	3	20,370
⋮	⋮	⋮	⋮

4.5.2 EFECTUAREA MĂSURĂTORILOR

Se vor efectua simultan trei categorii de măsurători topografice şi anume:

— măsurarea diferenţei de nivel dintre repere pe două trasee, prin nivelment geometric de la mijloc de mare precizie — neînchiderea admisă ± 1 mm între cele două trasee, (aparat Koni 007, eroare ± 0,005 mm/observaţie)

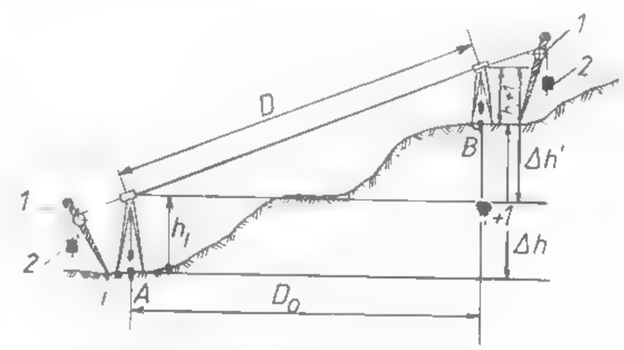


Fig. XV.82. Măsurarea lungimilor:
1 — scripete, 2 — greutate de 10 daN.

— măsurarea distanţelor în mod direct, prin serii de 5 observaţii, cu origini schimbate, folosind o ruletă întinsă pe scripeţi cu greutăţi calibrate de 10 daN. Punctele sînt semnalizate cu trepiede centrate cu dispozitive adecvate şi bastoane de măsurat înălţimea ($\ldots h_i, h_{i+1}, \ldots$) (fig. XV.82),

— măsurarea abaterii transversale cu ajutorul unui odontometru cu panou aşezat pe ambaza teodolitului, citirile efectuîndu-se pe rigla odontometrului.

Prelucrarea măsurătorilor constă în următoarele:

— se calculează diferenţa de nivel $\Delta h_{i,i+1}$ dintre repere, nefiind admisă o diferenţă între cele două observaţii pe trasee pe ± 1 mm

— se calculează media aritmetică a celor 5 observaţii pentru distanţa pe înclinare $D_{i,i+1}$, nefiind admisă o diferenţă mai mare de ± 5 mm între două măsurători din seria de 5 observaţii,

— se calculează diferenţa de nivel h' pe trepiede, cu ajutorul relaţiei:

$$\Delta h'_{i,i+1} = \Delta h_{i,i+1} - h_i + h_{i+1} \tag{4.216}$$

în care $h_{i,i+1}$ se introduce cu semnul respectiv pentru creşterea diferenţei de nivel şi pentru scăderea diferenţei de nivel.

Distanţa redusă la orizontală D_0 va rezulta din relaţia

$$D_{0i,i+1} = \sqrt{D^2_{i,i+1} - \Delta h'^2_{i,i+1}} \tag{4.217}$$

Tabelul XV.6

Prelucrarea mărimilor măsurate

Cota i	Puncte i	Puncte $i+1$	Δh	h_i	h_{i+1}	$\Delta h'$	D	D_0	Distanţă cumulată
1000,000	A	1	−13,760	1,042	1,200	−13,602	30,050	26,795	26,795
86,240	1	2	−5,639	1,200	0,982	−5,851	21,650	20,843	47,638
80,601	2	3	−3,366	0,982	1,297	−3,051	20,619	20,392	68,030
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Toate aceste calcule vor fi efectuate într-un tabel de forma tabelului XV.6. Rezultatele acestor calcule vor fi înscrise într-un tabel (tabelul XV.7).

Tabelul XV.7

Fişa aliniamentului

	Parametri \ Picheţi			A	1	2	3	4
Determinarea aprilie 1979	1	Distanţe orizontale	m		26,795	20,843	20,392	19,998
	2	Distanţe cumulate	m		26,795	47,638	68,030	
	3	Nivelul reperului	m	100,000	86,240	80,601	77,235	
	4	Diferenţe de nivel	m		−13,760	−5,639	−3,366	
	5	Abateri transvers.	m		0	−1	−3	

4.5.3. INTERPRETAREA REZULTATELOR MĂSURĂTORILOR

Constă în stabilirea unor parametri conform următoarelor definiri.

Scufundarea suprafeţei (S_i) este coborîrea nivelului suprafeţei zonei respective, în raport cu nivelul iniţial al aceleiaşi zone, după relaţia

$$S_i = H_i^* - H_i \text{ [mm]} \tag{4.218}$$

în care: H_i^* este cota punctului la măsurarea zero; H_i — cota curentă a reperului la un moment dat.

Se consideră că un reper de observaţie este stabil, din punct de vedere nivelitic dacă scufundarea finală este mai mică de 20 mm (triplul erorii de măsurare) pe punct şi că mişcarea de scufundare a încetat, dacă între ultimele trei măsurători de nivelment efectuate la intervale de cel puţin 3 luni, scufundarea este mai mică de 20 mm.

Înclinarea suprafeţei (I_i) este înclinarea unei zone de la suprafaţă faţă de poziţia sa iniţială; se determină prin raportul dintre diferenţele scufundărilor a două repere consecutive de observaţie şi distanţa orizontală dintre acestea, cu relaţia

$$I_i = \frac{S_{i+1} - S_i}{d_{oi,i+1}} \text{ [mm/m]} \tag{4.219}$$

în care: S_i este scufundarea unui reper; $S_{i,i+1}$ — scufundarea reperului următor, $d_{oi,i+1}$ — distanţa orizontală dintre cele două repere.

Înclinarea este o deformare a suprafeţei datorită scufundării şi nu are nimic comun cu înclinarea fizică a suprafeţei terenului.

Deplasarea orizontală (D_i^0) este deplasarea în plan orizontal a unui punct material situat în zona de influenţă a exploatării. Se determină prin diferenţa dintre depărtarea creată şi cea iniţială cu relaţia

$$D_i^0 = D_i^* - D_i \tag{4.220}$$

în care: D_i^* este distanţa orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero; D_i distanţa orizontală dintre repere la măsurarea curentă.

Deformaţia orizontală (ε_i) este definită ca alungirea (+) sau scufundarea (−) specifică a unei porţiuni de suprafaţă cuprinsă între două repere de observaţie, faţă de distanţa orizontală iniţială dintre acestea. Sînt de fapt întinderile şi compresiunile de-a lungul aliniamentului de observaţie şi se calculează cu relaţia:

$$\varepsilon_i = \frac{D_i^0}{D_i^*} \text{ [mm/m]} \tag{4.221}$$

în care: D_i^0 este deplasarea orizontală a reperului respectiv; D_i^* — distanţa orizontală dintre cele două repere la măsurătoarea zero.

Raza de curbură (R_i) este definită ca fiind raza cercului osculator, al curbei dusă prin trei puncte ale acesteia şi se determină cu relaţia:

$$R_i = \frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1} - I_i} \text{ [km]} \tag{4.222}$$

în care: $D_{i,i+2}$ este distanţa între trei puncte consecutive în care punctul i este punctul curent; I_i — înclinarea în punctul curent; I_{i+1} — înclinarea în punctul de mijloc a distanţei studiate.

Curbura suprafeţei (C) este definită ca limita raportului dintre unghiul de convergenţă al tangentelor în punctele învecinate şi distanţa dintre acestea. De fapt este inversă razei de curbură

$$C_i = \frac{1}{R_i} \text{ [(km}^{-1}\text{)]} \tag{4.223}$$

Toţi aceşti parametri vor fi calculaţi în tabele adecvate (tabelul XV.8).

Se întocmesc în continuare grafice separate pentru fiecare parametru în parte.

Întreg acest studiu va avea o *Fişă sintetică* în care vor fi trecute cele mai importante caracteristici de constituire şi urmărire a evoluţiei parametrilor. Conţinutul fişei

va cuprinde : denumirea staţiei de urmărire, stratul, blocul, exploatarea minieră, grosimea normală a stratului, înclinarea şi configuraţia suprafeţei, adîncimi medii, maxime şi minime de exploatare, prezenţa altor strate în acoperiş, a altor exploatări trecute şi prezente, numărul total de puncte de aliniament (separat pe transversal şi direcţional), numărul de aliniamente, datele efectuării observaţiilor, metoda de exploatare, metoda de dirijare a acoperişului, lungimea cîmpului de abataj, lungimea liniei de front, lungimea

Tabelul XV.8

Parametrii preluării de observaţii

Pct.	S_i [mm]	$S_{i+1}-S_i$ [mm]	$I_i=\frac{S_{i+1}-S_i}{d_{i,i+1}}$ [mm/m]	$D_{i+1}-I_i$	$D_{i,i+2}$	$R_{i+1}=\frac{D_{i,i+2}}{I_{i+1}I_i}$ [m/mm]	$C_{i+1}=\frac{1}{R_{i+1}}$	D_i [mm]	$\varepsilon_i=\frac{D_i^0}{D_i^*}$
A	0	+10	0,373204	−0,517137	47,638	−92,118	−0,010855	118	+4,4038
1	−10	−3	−0,143933	0,585283	41,235	70,453	0,014938	−263	−11,3227
2	+7	+9	0,44135	−0,76363	39,200	−51,554	0,01939	−18	−0,8826
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

critică a cîmpului de abataj, lungimea critică a liniei de front, rezultatele evoluţiei parametrilor : S_{max}, I_{max}, D_{max}, ε_{max}, R_{max}. Fişa sintetică va conţine, de asemenea, unghiurile limită de scufundare (direcţional, în aval şi în amonte), unghiurile scufundării maxime, unghiurile de deformaţii maxime, unghiurile de rupere vizibilă a suprafeţei (direcţional, în aval şi în amonte).

În final vor fi determinate viteza maximă de scufundare a suprafeţei (mm/lună), timpul necesar realizării scufundării maxime (luni), mărimea zonei de exploatare în momentul realizării scufundării maxime, absolute, viteza medie de exploatare (m/lună). Studiul va fi utilizat la dimensionarea şi redimensionarea pilierilor de siguranţă din zone şi bazine miniere asemănătoare cu cea studiată pentru protejarea construcţiilor de la suprafaţă şi protecţia subteranului minei.

5. FOTOGRAMMETRIE TERESTRĂ

5.1. DEFINIŢIA ŞI SCOPUL FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria aparţine tehnicilor de măsurare ce îşi propune să studieze şi să definească cu precizie forma, dimensiunile şi poziţia în spaţiu a obiectelor, utilizînd în esenţă măsurători efectuate pe una sau mai multe fotografii ale obiectului.

Avantajele acestei tehnici utilizate în măsurători reies mai ales din caracteristicile imaginilor fotografice

dă obiectului o imagine completă, fără posibilităţi de omisie a detaliilor, foarte amănunţită, continuă şi de o mare precizie ;

informaţiile conţinute pe imagine se obţin în acelaşi moment şi au o valoare mare de documentare pentru o anumită stare a obiectului ;

ca document se manipulează uşor, conservarea fiind practic nelimitată şi este disponibil în orice moment pentru control, cercetări ulterioare ,

poate fi fotografiat orice obiect solid, lichid, mic sau extrem de mare, staţionabil sau deformabil în timp, lent sau rapid.

Toate aceste proprietăţi arată că fotogrammetria furnizează procedee de măsură şi studiu de o mare fidelitate, mai uşor de folosit, mai rapide decît procedeele de măsurare directă.

Procedeele fotogrammetrice se aplică fără dificultate în cazuri în care alte procedee sînt inutilizabile (obiecte inaccesibile, în mişcare, rapide) sau s-ar utiliza cu un randament mic

Fotogrammetria poate fi : *terestră* sau *aeriană*.

Fotogrammetria terestră se ocupă cu întregul proces, începînd cu preluările fotografice din staţii fixe de pe suprafaţa terestră pînă la reprezentarea lui sub formă analogică sau digitală (model numeric). Prin posibilitatea ei remarcabilă de a înmagazina informaţii şi de a permite măsurători de precizie, se foloseşte cu foarte mult succes în diferite domenii tehnice dintre care pot fi citate : topografia, industria minieră la sprafaţă şi în subteran geologie şi geotehnie, trasări şi deformaţii ale construcţiilor, alunecări şi scufundări de terenuri, urmărirea comportării utilajelor grele în funcţionare etc

Pentru fiecare domeniu de aplicare intervine o caracteristică a condiţiilor de efectuare a măsurătorilor.

5.2. BAZA GEOMETRICĂ A FOTOGRAMELOR

5.2.1. FOTOGRAMA CA PROIECŢIE CENTRALĂ

Imaginea fotografică pe care se efectuează măsurătorile în vederea determinării formei şi poziţiei obiectelor în spaţiu se numeşte *fotogramă* ; din punct de vedere geometric este o proiecţie centrală.

Practic, fotograma este obţinută cu ajutorul obiectivului fotogrammetric ce are rol de *centru de proiecţie* şi o poziţie bine determinată în spaţiu, atît faţă de obiect cît şi de planul pe care se formează imaginea. Razele de proiecţie, ce pleacă de la punctele $A, B, C \ldots$ din spaţiul real şi trec prin centrul de proiecţie O, formează pe planul imagine punctele imagine $a, b, c \ldots$, realizînd astfel o corespondenţă între punctele corespondente (fig. XV.83). Unui punct imagine a din planul fotogramei pot să i-i corespundă însă o

infinitate de puncte din spaţiul real $A_1, A_2 \ldots, A_n$. Această corespondenţă nu mai este univocă. Deci proiecţia centrală plană nu este o corespondenţă biunivocă între punctele spaţiului real şi imaginile lor pe planul imagine numai în cazuri bine determinate

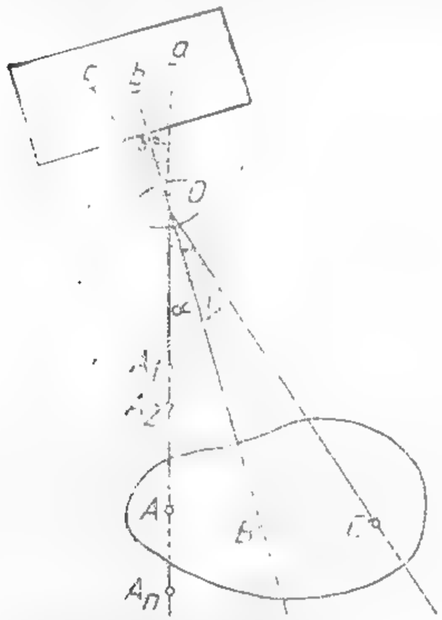


Fig. XV.83. Fotograma ca proiecţie centrală.

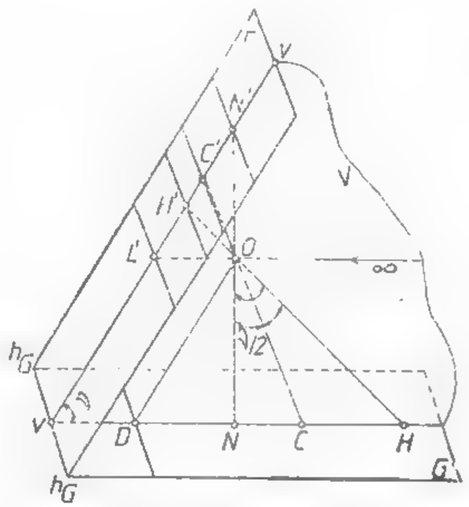


Fig. XV.84. Elementele proiecţiei centrale.

5.2.2. ELEMENTELE PROIECŢIEI CENTRALE

În figura XV.84 sînt date elementele de bază ale proiecţiei centrale, ce stabilesc geometric legătura dintre punctele spaţiului real şi imaginile lor pe perspectiva centrală plană. Astfel

G este planul geometralului (al terenului), plan orizontal pe care se face proiecţia ortogonală a suprafeţei terestre;

F — planul imaginii (fotograma);

O — centrul de proiecţie (centrul obiectivului fotogrammetric);

V — planul vertical principal (plan vertical ce trece prin O şi este perpendicular pe G şi F);

vv — verticală principală — intersecţia dintre planul vertical principal V şi planul imagine F;

ν — unghiul nadiral (înclinarea planului fotogramei faţă de geometral);

h_G — h_G — orizontală principală (linia de pămînt), linia de intersecţie a planului geometralului şi al fotogramei. Fiind dreaptă comună între două plane orizontale, paralele cu ea din planul geometralului, îşi vor forma imaginea tot paralel cu ea pe planul imagine;

H' — punct principal — punctul de intersecţie al perpendicularei din O pe planul imagine;

OH' — distanţa principală (focală) în cazul obiectivilor fotogrammetrici;

N' — punct nadiral — intersecţia verticalei din O cu planul imagine;

N — punct nadir — intersecţia verticalei din O cu planul geometralului;

ON — distanţa nadirală — înălţimea centrului de proiecţie faţă de geometral;

L' — punct principal de fugă — punctul unde direcţia ce trece prin centrul de proiecţie O şi este paralelă la planul geometralului întîlneşte planul imagine. Este punctul caracteristic în ajutorul căruia se proiectează central dreptele conţinute în planul geometralului;

C' — izocentru sau metacentru — intersecţia bisectoarei unghiului ν şi planul fotogramei. Acest punct se numeşte *punctul deformaţiilor nule* deoarece direcţiile ce se sprijină pe el în planul geometralului se proiectează după direcţii paralele cu ele pe planul imagine, de asemenea, scara pe toate direcţiile ce trec prin acest punct are o valoare constantă.

Punctele H', N', L', C' se află toate pe verticala principală. Distanţele între aceste puncte se determină cu ajutorul relaţiilor

$$H'N' = f \operatorname{tg} \nu; \quad H'C' = f \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}; \quad H'L' = \frac{f}{\operatorname{tg} \nu}; \tag{5.1}$$

$$ON' = \frac{f}{\cos \nu}; \; O'L' = \frac{f}{\cos \nu}; \; O'C' = \frac{f}{\cos \frac{\nu}{2}}; \; L'N' = \frac{2f}{2 \sin 2\nu}$$

Dacă planul fotogramei este vertical ($\nu = 90°$) sîntem în cazul fotogrammetriei terestre. În acest caz

$$OH' = OL' = H'C' = f \qquad (\text{punctul } L' = N') \tag{5.2}$$

$$H'N' = ON' = L'N' = \infty \qquad (N' = \infty)$$

$$OC' = f\sqrt{2}$$

5.2.3. SISTEME DE COORDONATE UTILIZATE ÎN FOTOGRAMMETRIE

Pentru stabilirea relaţiilor între proiecţie şi obiectul real se vor considera sisteme de coordonate convenţionale în care se pot ordona punctele imagine, respectiv punctele reale (ale obiectului) (fig. XV.85). Sistemele de coordonate sînt astfel definite încît corespund indicaţiilor internaţionale.

a) Sistemul de coordonate fotogrammetrice este un sistem rectangular plan, cu originea în punctul principal H', axele sistemului sînt definite de direcţiile ce unesc indicii de referinţă ai fotogramei. Pentru fotogrammetria terestră aceste axe sînt x, z.

b) Sistemul de coordonate (spaţial (X, Y, Z) cu originea în centrul de proiecţie. Direcţia axei Z este verticală iar axa Y corespunde cu direcţia de fotografiere în foto-

grammetria terestră. Axa X este perpendiculară pe Y şi paralelă cu axa x' a planului imagine.

c) Sistemul de coordonate geodezic $(\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z})$ este definit, de asemenea, în spaţiul real şi este adoptat la nivelul ţării sau local de unitatea topografică respectivă.

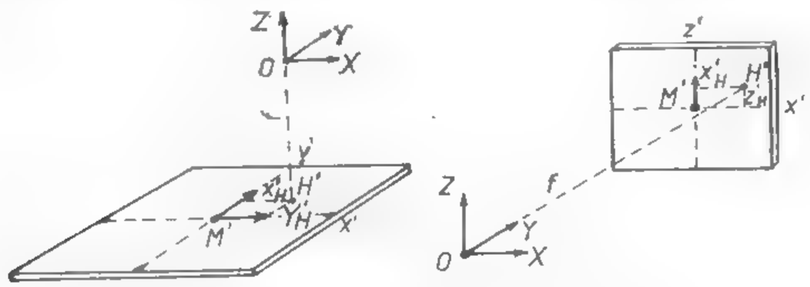


Fig. XV. 85. Sisteme de coordonate.

5.2.4. ELEMENTELE DE ORIENTARE A FOTOGRAMELOR

Elementele de orientare ale fotogramelor stabilesc corespondenţa biunivocă între punctele spaţiului real şi imaginile lor pe planul fotogramei. Cu ajutorul lor poate fi reconstituită poziţia fotogramei în momentul fotografierii. Aceste elemente se împart în : *elemente de orientare interioară şi elemente de orientare exterioară.*

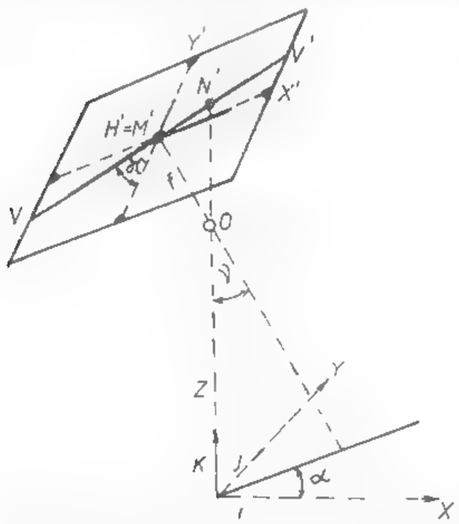


Fig. XV.86. Elemente de orientare exterioară a fotogramelor.

a) Elementele de orientare interioară determină poziţia centrului de proiecţie (a obiectivului) faţă de planul fotogramei. Aceste elemente sînt : distanţa principală (focală) a obiectivului camerei fotogrammetrice şi coordonatele fotogrammetrice ale punctului principal x'_H, z'_H, $(x'_H, y'_H$ în fotogrammetria aeriană). Ele se determină cu precizie ridicată de către firma constructoare şi se imprimă automat în timpul fotografierii pe planul fotogramei (fig. XV.85).

b) Elementele orientării exterioare (fig. XV. 86) determină poziţia fascicolului fotogrammetric în spaţiu. Acestea sînt coordonatele geodezice ale centrului de proiecţie $\overline{X}_0$, $\overline{Y}_0$, $\overline{Z}_0$ şi trei unghiuri independente ce arată poziţia spaţială a planului imagine :

α — unghiul de direcţie (unghiul dintre direcţia axei X şi direcţia axei de fotografiere) ;

ν — unghiul de înclinare al fotogramei ;

$\varkappa$ — unghiul de rotaţie al fotogramei (format de direcţia axei Y cu verticala principală). Aceste elemente se determină prin metode geodezo-topografice cunoscute sau prin reperajul fotogrammetric.

În fotogrammetria terestră poziţia fotogramei fiind bine cunoscută (plan verticsal), elementele orientării exterioare se reduc la coordonatele centrului de proiecţie, determinarea lor fiind practic mult simplificată.

5.2.5. RELAŢIILE ANALITICE ALE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Pentru a stabili analitic corespondenţa între coordonatele (X_P, Y_P, Z_P) punctului din spaţiul real şi coordonatele fotogrammetrice ale imaginii sale, vom face apel la elementele de orientare ale fotogramelor.

Vom considera punctele spaţiului real ordonate faţă de sistemul $C\,X\,Y\,Z$. Punctele imagine corespunzătoare le ordonăm faţă de sistemul de axe al fotogramei $x'z'$ (fig. XV.87)

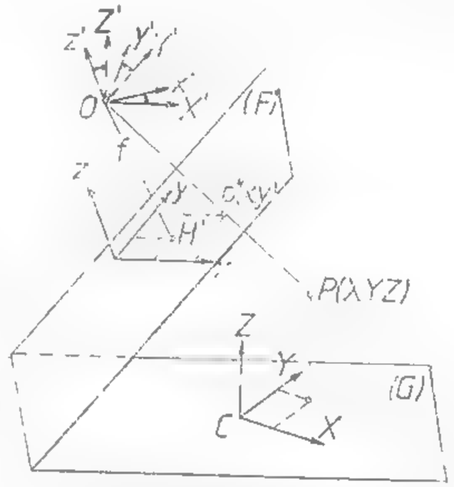


Fig. XV.87. Relaţii între coordonatele punctelor imagine şi coordonatele spaţiale.

Pentru a putea realiza transformarea coordonatelor dintr un sistem în celălalt vom considera ambele sisteme cu aceeaşi origine, aceasta fiind centrul de proiecţie O, punct bine determinat. Faţă de aceste sisteme vom putea defini poziţia unui punct p' din planul imagine cu relaţia

$$\begin{pmatrix} X'_{p'} \\ Y'_{p'} \\ Z'_{p'} \end{pmatrix} \quad R \quad \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ y'_{p'} \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \qquad (5.3)$$

în care R reprezintă matricea de rotaţie a celor două sisteme şi care pentru planul vertical al fotogramei (axele corespondente celor două sisteme fiind pe aceeaşi direcţie) este :

$$R = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad (5.4)$$

Sistemul X', Y', Z' fiind o translaţie a sistemului $X\,Y\,Z$ în punctul O X_O, Y_O, Z_O, poate fi scris sub forma

$$X' = X - X_O, \quad Y' = Y - Y_O, \quad Z' = Z - Z_O \qquad (5.5)$$

Dacă se pune şi condiţia de coliniaritate ce trebuie să existe între punctul real P, centrul de proiecţie O şi punctul imagine p'

$$\frac{X_P - X_O}{X'_{p'}} = \frac{Y_P - Y_O}{Y'_{p'}} = \frac{Z_P - Z_O}{Z'_{p'}} = \lambda \qquad (5.6)$$

vom obţine relaţia

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_O \\ Y_O \\ Z_O \end{pmatrix} + \lambda \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{pmatrix} x'_{p'} \\ f \\ z'_{p'} \end{pmatrix} \tag{5.7}$$

relaţie ce exprimă complet legătura între punctele spaţiului real şi imaginile lor din planul fotogramei.

Coordonatele punctului imagine $p'(x' z')$ se obţin rezolvînd sistemul de ecuaţii format prin eliminarea factorului λ din relaţie, astfel:

$$x'_{p'} = f \frac{(X_P - X_O)}{Y_P - Y_O}$$

$$z'_{p'} = f \frac{(Z_P - Z_O)}{Y_P - Y_O} \tag{5.8}$$

Sistemul are soluţii unice şi bine determinate. Dacă considerăm că originea sistemului spaţial $X\,Y\,Z$ se află în centrul de proiecţie O (fig. XV.88) atunci vom avea:

$$x'_{p'} = f \frac{X_P}{Y_P}\ ; \qquad z'_{p'} = f \frac{Z_P}{Y_P} \tag{5.9}$$

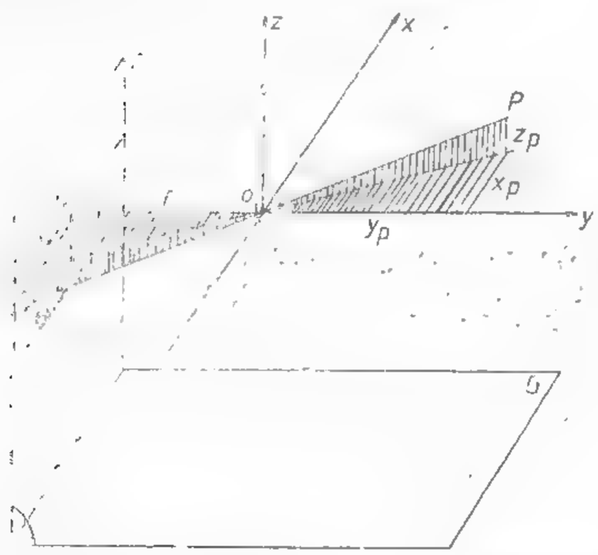


Fig. XV.88. Corespondenţa între coordonatele imagine şi coordonatele spaţiale ale punctelor în cazul fotogrammetriei terestre.

sau invers, putem calcula coordonatele spaţiale ale unui punct cu ajutorul coordonatelor punctului imagine:

$$X_P = \frac{Y_P}{f} x'_{p'}\ ; \quad Z_P = \frac{Y_P}{f} z'_{p'} \tag{5.10}$$

Relaţiile stabilite mai sus permit ca pornind de la punctele imagine p'_i să se determine poziţia punctelor P_i din spaţiul real.

5.3. VEDEREA STEREOSCOPICĂ

5.3.1. VEDEREA BINOCULARĂ NATURALĂ

Capacitatea de apreciere a profunzimii (adîncimii reliefului), utilă în măsurătorile fotogrammetrice, se obţine numai cu ajutorul vederii binoculare.

Ochiul uman, organul cu care se realizează vederea spaţială, poate fi considerat ca un sistem optic, al cărui obiectiv (centru de proiecţie) este cristalinul, iar planul focal pe care se formează imaginea virtuală a obiectului privit este partea cea mai sensibilă a retinei — pata galbenă. Cristalinul are capacitatea de a-şi modifica curbura cu ajutorul muşchilor ciliari, astfel ca punctele reale situate la diferite distanţe să-şi formeze imaginea pe pata galbenă. Această proprietate a ochiului se numeşte *acomodare*. După cum impulsurile luminoase impresionează celulele retinei, punctele obiectului se pot distinge separat sau confundat. Unghiul minim sub care două puncte se observă în mod separat poartă denumirea de *acuitatea vederii* şi are valoarea de 20 — 30″.

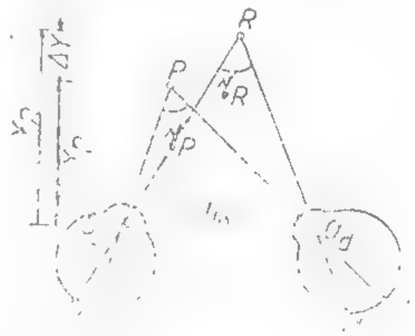


Fig. XV.89. Vederea spaţială naturală.

Observarea simultană a unui obiect cu ambii ochi în anumite condiţii permite realizarea percepţiei spaţiale a acestuia, ca urmare a fenomenului de *fuziune binoculară*. Imaginile obiectului formate pe retinele celor doi ochi, diferite între ele, se transmit prin intermediul nervilor optici scoarţei cerebrale care, printr-un proces fiziologic le transformă într-un model spaţial.

Fie punctele O_s şi O_d centrele de proiecţie ale celor doi ochi, P şi R punctele din spaţiu, p', p'', r', şi r'' imaginile acestor puncte pe retine (fig. XV.89). Unghiul format de axele orizontale ale ochilor spre punctul din spaţiu poartă denumirea de *unghi de convergenţă*. Mărimea lui depinde de depărtarea Y la care se găseşte punctul real şi de valoarea bazei oculare b_0 ($b_0 = 55 - 74$ mm). Variaţia unghiului de convergenţă $\Delta\gamma = \gamma_P - \gamma_R$ poartă denumirea de *paralaxă stereoscopică unghiulară*.

Din fig. XV.89 se poate scrie:

$$Y_P = \frac{b_0}{\gamma''_P} p'' \tag{5.11}$$

Prin diferenţierea relaţiei (5.11) se obţine:

$$\Delta Y = -\frac{b_0}{\gamma^2} \rho''\, \Delta\gamma'' \tag{5.12}$$

sau

$$\Delta Y = -\frac{y}{b_0} \frac{\Delta\gamma''}{\rho''} \tag{5.13}$$

Relaţia (5.13) arată dependenţa dintre profunzimea ΔY şi paralaxa stereoscopică unghiulară $\Delta\gamma$. Diferenţa dintre imaginile individuale ale ochilor $l_s - l_d = p$ se numeşte

paralaxă stereoscopică liniară și este direct proporțională cu paralaxa unghiulară $\Delta\gamma$. Deci

$$l_s - l_d = p = K \cdot \Delta\gamma \qquad (5.14)$$

înlocuind în relația (5.13) se obține

$$\Delta Y = -\frac{Y}{b_0} \cdot p \cdot K' \qquad (5.15)$$

Se poate spune că și existența paralaxei stereoscopice liniare creează percepția de adîncime între punctele obiectului.

Pentru ca să se producă percepție spațială (efectul stereoscopic) nu trebuie depășite valorile limită ale paralaxei stereoscopice ($\Delta\gamma_{max} \simeq 1'$ și $\Delta\gamma_{min} \simeq 20''$). Pentru o valoare limitei acuității stereoscopice se obține conform relației (5.11) distanța Y pînă la care se poate realiza percepția stereoscopică.

Astfel pentru $\Delta\gamma'' = 20''$, $Y = \frac{b_0}{\Delta\gamma''}\rho'' = \frac{65}{20''} 206265 \simeq 670$ m

dacă se consideră că $b_0 = 74$ mm, depărtarea Y poate fi de $\simeq 800$ mm.

În funcție de limitele între care variază acuitatea și baza interpupilară, distanța percepției stereoscopice directe este cuprinsă între 500 și 800 m. Pe lîngă parametrii menționați, vederea spațială directă este influențată de o serie de factori fiziologici (defecte ale vederii) și fizici, cum ar fi intensitatea luminii și contrastul între obiecte etc.

5.3.2. VEDEREA STEREOSCOPICĂ ARTIFICIALĂ

Condițiile vederii stereoscopice. Vederea spațială a unui obiect se poate obține și pe cale indirectă, fiind observate în condiții impuse două imagini perspective F_1 și F_2 ale obiectului, realizate din două centre de proiecție diferite (fig. XV.90). O astfel de vedere se numește *vedere stereoscopică artificială*, iar cele două imagini fotografice ce realizează efectul stereoscopic formează un *cuplu stereoscopic*. Pentru ca percepția stereoscopică să se realizeze trebuie ca imaginile perspective să îndeplinească următoarele condiții

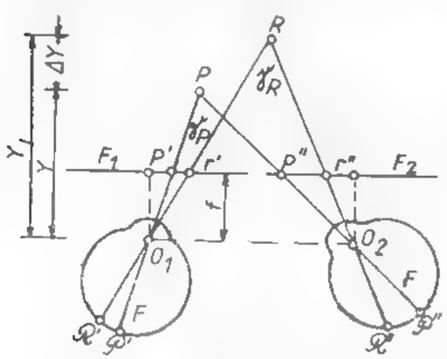


Fig. XV.90. Vederea stereoscopică artificială.

imaginile trebuie să se deosebească prin paralaxa stereoscopică liniară p, ca atare se realizează din puncte diferite, distanța dintre aceste puncte denumindu-se *bază de fotografiere* b;

— observarea fotogramelor să se facă concomitent, fiecărui ochi să-i corespundă o imagine impusă. Pentru a obține efectul stereoscopic direct (ortoscopic), ochiul stîng va observa fotograma din punctul stîng al bazei, iar ochiul drept din punctul drept. Dacă imaginile se vor inversa se va obține o imagine stereoscopică inversă, un efect pseudoscopic;

— razele vizuale ale ochilor pornite de la punctele imagine trebuie să se intersecteze în spațiu sub unghiul de convergență cerut de vederea spațială directă.

Pentru ca imaginea stereoscopică să reprezinte fidel obiectul real trebuie ca:

— baza de preluare b să fie egală cu baza de observare b_0;

— distanța de observare f să fie aceeași cu distanța focală a aparatului de preluare.

În cazul vederii stereoscopice artificiale, baza de preluare este mărită cu un număr n ori față de cea de observație (sute sau chiar mii de ori). În acest caz observarea cu o bază b_0 a imaginilor F_1 și F_2 preluate în o bază b realizează un model stereoscopic micșorat apropiat de bază de același număr de ori (fig. XV.91). Apropierea modelului de observator mărește și acuitatea stereoscopică de același număr de ori (fig. XV.91, *a*).

Modificarea distanței de observare de v ori față de distanța principală de la preluarea fotogramelor are efect, de asemenea, asupra modelului stereoscopic format. Vederea stereoscopică formată prin intermediul imaginilor respective va apare mai apropiată

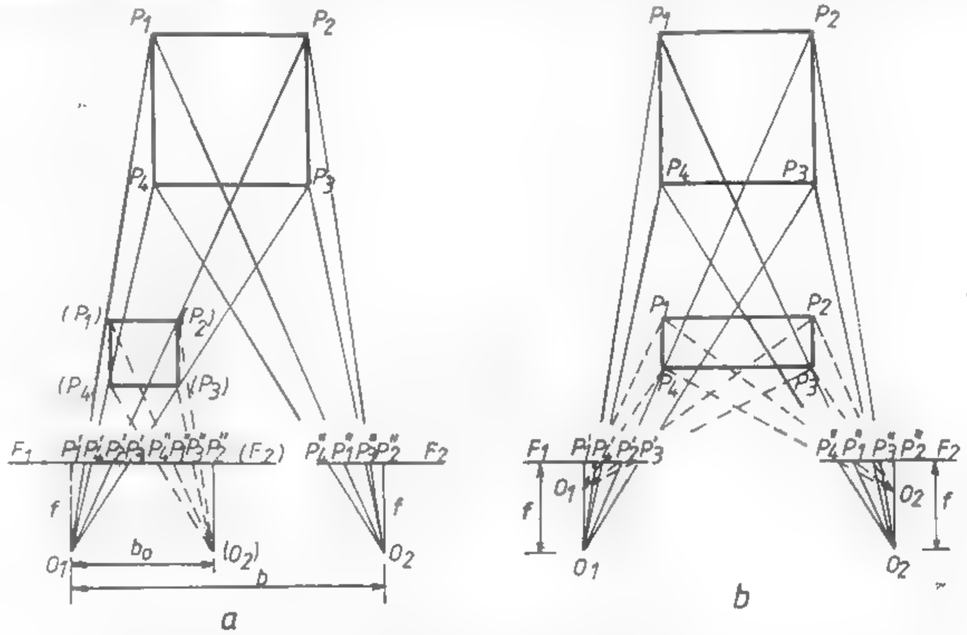


Fig. XV.91. Model stereoscopic:

a — omotetic deformat; *b* — deformat prin modificarea distanței de observare.

de bază, dar și deformată în profunzime cu același număr v (fig. XV. 91,*b*). Rămîn neschimbate numai direcțiile paralele cu baza de preluare. Prin deformarea profunzimii acuitatea percepției spațiale scade, însă va crește de v ori datorită apropierii modelului. Prin aplicarea concomitent a ambelor posibilități se obține o mărime de n, v a acuității percepției în profunzime a modelului.

Aceste căi de îmbunătățire a percepției în profunzime sînt utilizate la aparatura de observare stereoscopică.

Observarea stereoscopică. Observarea modelului spațial indirect se realizează cu ajutorul unor instrumente numite *stereoscoape*. Din punct de vedere constructiv ele pot fi cu lentile, cu prisme sau cu oglinzi. Prin combinarea tipurilor de bază se obțin diferite tipuri de stereoscoape. Caracteristica tuturor stereoscoapelor constă în sistemul optic astfel realizat încît să permită realizarea condițiilor vederii stereoscopice și anume, separarea imaginilor oferite ochilor observatorului și orientarea reciprocă a imaginilor.

Pentru a obține modelul stereoscopic, cuplul stereoscopic trebuie orientat față de baza de observație. În cazul fotogramelor terestre, orientarea rezultă prin poziționarea paralelă a axelor $x - x'$ a fotogramelor față de baza de observație. În fig. XV.92 este prezentat stereoscopul cu oglinzi.

Măsurarea stereoscopică. Modelul stereoscopic obținut prin observarea stereoscopică a stereogramei permite efectuarea de măsurători în scopul determinării formei, mărimii și poziției obiectului. Măsurarea stereoscopică are la bază *principiul mărcii mobile a lui* S t o l z e (1892), preluat și îmbunătățit de P u l p h r i c h și aplicat la construcția aparatelor de restituție.

În fotogrammetrie marca mobilă este denumită marca spațială percepută de observarea stereoscopică a două mărci parțiale. Mărcile parțiale m_1 și m_2 se plasează în așa fel încît să indice riguros poziția punctelor omoloage p', p'', pe stereogramă. În această situație, în cîmpul modelului va apare marca spațială (M) în coincidență cu punctul P al modelului spațial (fig. XV. 93). Nesuprapunerea perfectă a unei sau a ambelor mărci m_1 și m_2 pe punctele imagine face ca marca spațială să părăsească modelul, aflîndu-se fie deasupra lui, fie în profunzime, producînd erori în măsurare.

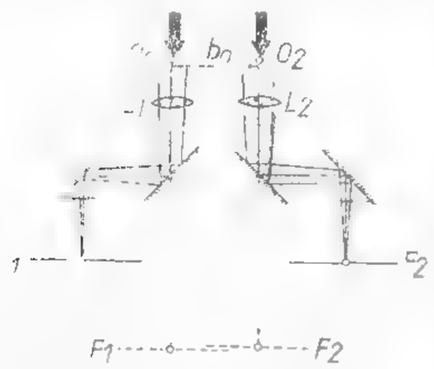


Fig. XV.92. Stereoscopul cu oglinzi.

Mărcile parțiale de măsurare pot avea diferite forme (puncte, cercuri, cruce), pot fi negre sau luminoase. Ele echipează orice aparat de restituție stereofotogrammetrică și pot fi realizate virtual prin intersecția traseelor optice corespunzătoare celor două mărci portabile sau într-o formă reală prin materializarea ei în cîmpul stereomodelului.

Legătura mărcilor parțiale cu un dispozitiv de citire sau de desenare corespunzător definește coordonatele modelului prin intermediul coordonatelor

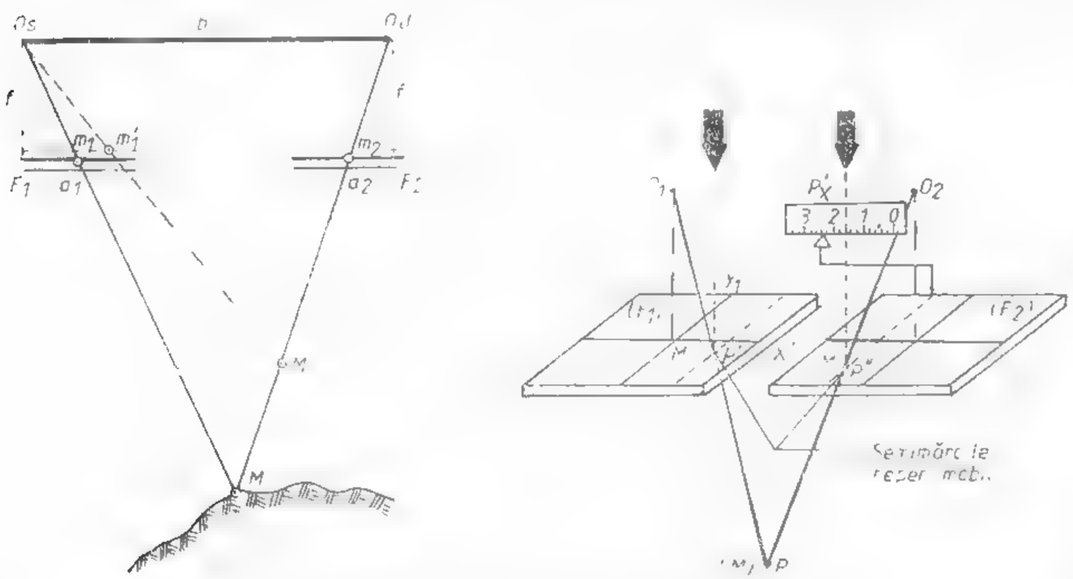


Fig. XV.93. Principiul măsurării stereoscopice.

fotogrammetrice $x'z'$ sau a paralaxelor p_x și p_z. Astfel că, prin deplasarea mărcii spațiale pe modelul optic, este posibilă restituția continuă a modelului prin izolinii sau curbe de nivel. Acest lucru reprezintă un avantaj incontestabil al măsurării fotogrammetrice.

5.4. APARATURA DE FOTOGRAFIERE

Pentru obținerea fotogramelor terestre se folosesc camere de fotografiat speciale ale căror elemente de orientare interioară sînt cunoscute sau posibil a fi cunoscute. În general, o cameră metrică se compune dintr-un corp al camerei, obiectivul fotografic și un plan riguros dispus pe cadrul camerei — planul focal.

Acest plan focal, perpendicular pe axa de fotografiere, se află față de pe punctul nodal al obiectivului, la o distanță f egală cu distanța focală a acestuia. Pe cadrul camerei de fotografiat sînt dispuși patru indici de referință la intersecția axelor ce îi unesc definindu-se poziția punctului principal H'. Prin fotografierea acestor indici se formează imaginea lor pe fotogramă. Un rol important în realizarea imaginii fotografice îl are *obiectivul fotogrammetric*. Pentru ca acesta să dea o imagine riguroasă a obiectului fotografiat trebuie să aibă următoarele calități: claritate mare, să fie lipsit de aberația de distorsie, putere de rezolvare mare, curbura de cîmp mică, cîmp angular potrivit (se folosesc obiective cu unghiul de cîmp de 60°— 120°).

Pe lîngă aceste părți componente principale, camerele de fotografiere terestre trebuie să mai fie prevăzute cu

- dispozitiv de orientare (pentru determinarea direcției de fotografiere);
- suruburi de calare pentru verticalizarea planului imagine,

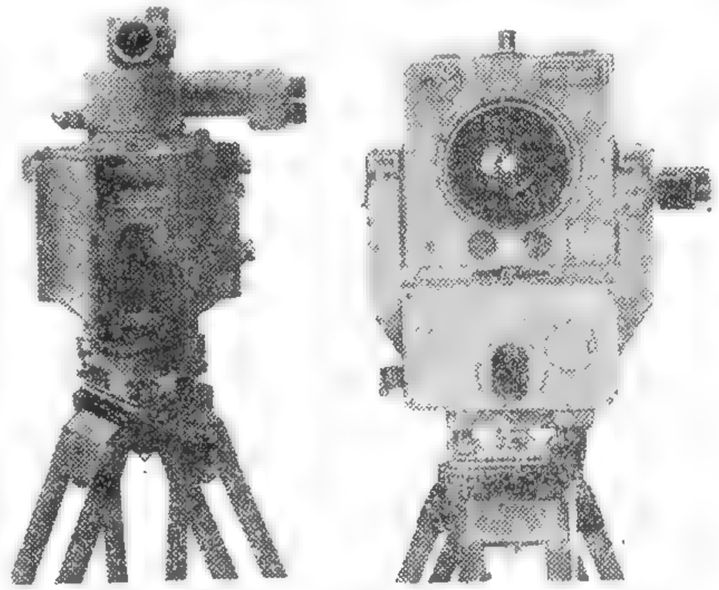


Fig. XV.94. Camere fotogrammetrice.

- nivele pentru orizontalizarea axei de fotografiere și a axei de vizare a lunetei;
- alte dispozitive anexe (pentru determinarea cîmpului de fotografiere și înscrierea datelor necesare restituției).

Camerele metrice de prelnare folosite la fotogrammetria terestră se împart în două categorii

- camere fotogrammetrice individuale (de tipul fototeodolitelor, fig. XV.94);
- camere fotogrammetrice duble sau camere stereometrice (fig. XV.95).

Fototeodolitul (fig. XV.96) este construit dintr-o cameră metrică de fotografiere *1* și un dispozitiv de orientare *2* cu axa verticală comună. Dispozitivul de orientare, legat

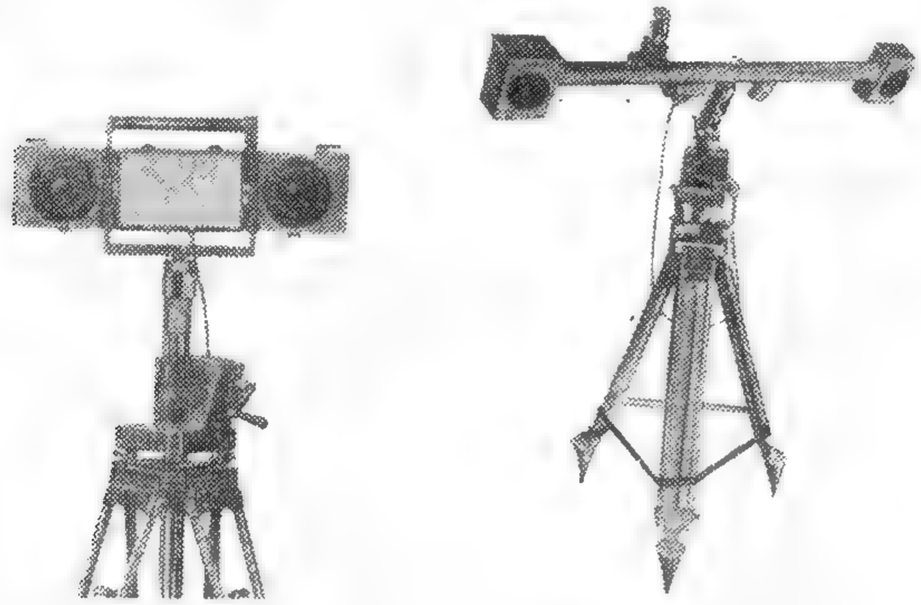


Fig. XV. 95. Camere stereometrice.

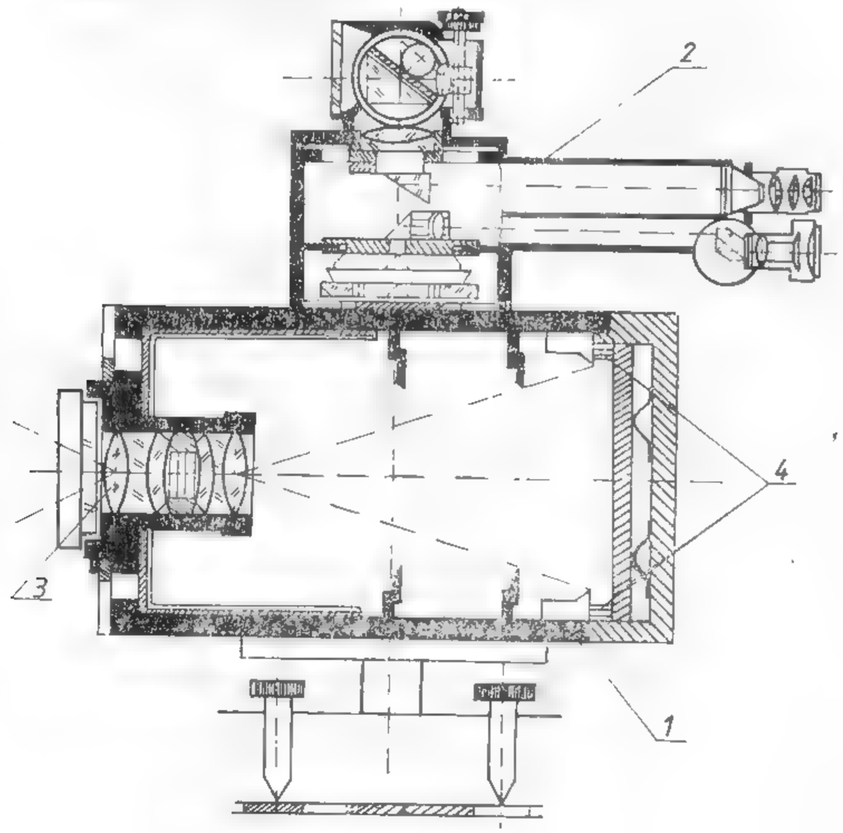


Fig. XV.96. Fototeodolitul.

rigid de cameră sau detaşabil, îndeplineşte funcţia de teodolit şi este necesar determinării elementelor de orientare exterioară. De regulă, fototeodolitele sînt construite cu axa de fotografiere orizontală, iar pentru creşterea cîmpului de fotografiere pe verticală, obiectivul aparatului (3) are posibilitatea de a culisa riguros în plan vertical în sus şi jos, deplasare ce trebuie să fie în strînsă legătură cu indicii de referinţă (4) de pe cadrul camerei. Există şi fototeodolite cu camera fotogrammetrică mobilă, care au posibilitatea ca axa de fotografiere să facă diferite unghiuri de înclinare (oarecare sau determinate).

În funcţie de domeniul de utilizare, fototeodolitele se pot împărţi în :

fototeodolite cu profunzime de cîmp între 20 m şi cu deschiderea diafragmei constantă ;

fototeodolite cu profunzime de cîmp redusă şi cu difragma reglabilă.

Fototeodolitele din prima categorie servesc pentru măsurători în scopuri topografice, atunci cînd obiectele se află la distanţă mare faţă de aparatul de fotografiat, iar cele din a doua categorie servesc pentru realizarea fotogramelor în scopuri speciale (studiul deformaţiilor etc.). Caracteristicile şi parametrii tehnici sînt date în tabelul XV.10.

Camere stereometrice. Sînt formate din două camere fotogrammetrice identice montate pe o bară de lungime fixă sau variabilă (v. fig. XV. 95). Axele de fotografiere a celor două camere metrice terebuie să fie riguros paralele între ele şi perpendiculare pe bază ; ele pot fi orizontale sau pot face un unghi de înclinare cu orizontala.

Acţionarea camerei stereometrice în vederea realizării fotogramelor este centralizată. La unele aparate sistemul bazei şi al celor două camere poate fi ridicat sau coborît la înălţimea dorită de fotografiere. Camerele stereofotogrammetrice se utilizează în fotografierea obiectelor la distanţă mică (1,5— 10 m), în spaţiu restrîns, unde este dificilă amplasarea şi realizarea unei baze fotogrammetrice prin fotografiere cu camere izolate.

Prin simplitatea construcţiei lor, a modului de executare a fotogramelor, precum şi prin faptul că în restituţia fotogramelor realizate se utilizează relaţii simple, utilizarea lor este avantajoasă în multe domenii de activitate. În tabelul XV.11 (v. p. 566) sînt date caracteristicile şi parametrii tehnici ai camerelor stereofotogrammetrice.

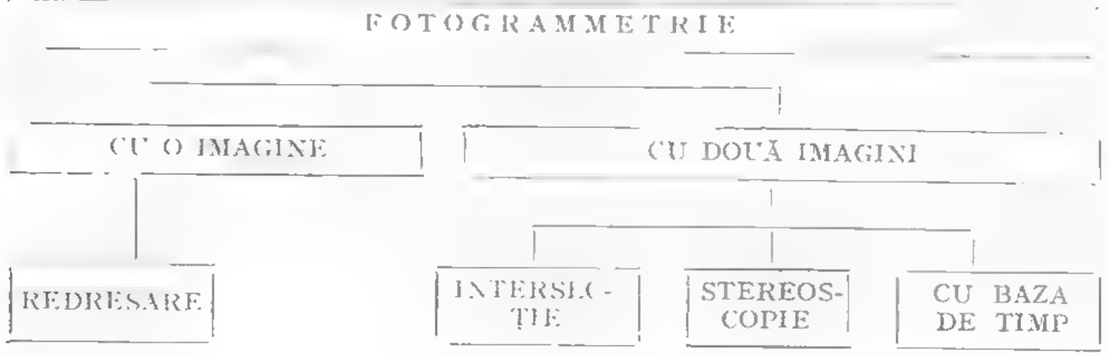
5.5. METODELE FOTOGRAMMETRIEI TERESTRE

Fotogrammetria terestră se ocupă cu metodele, procedeele, prin care se determină forma, poziţia şi dimensiunile obiectelor din spaţiu pe baza măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice obţinute din puncte fixe de pe suprafaţa terestră.

Practic reconstituirea spaţială se realizează printr-un ansamblu de operaţii de fotografiere, măsurare şi reprezentare a rezultatelor, fie sub formă numerică, fie sub formă

Tabelul XV.9

Metode ale fotogrametriei terestre



Tabelul XV.10

Caracteristici tehnice ale fototeodolitelor

Denumirea	Producătorul	Formatul fotogramelor [cm × cm]	Distanța focală [mm]	Deschiderea diafragmei obectivului	Unghi de cîmp pe orizontală/pe verticală	Axa de fotografiere	Interval de fotografiere [m]	Suportul foto placă/film
Fototeodolitul Phototheo 19/1318	Carl Zeiss Jena—R.D.G.	13 × 18	190	1:25 constant	52g / 38g	0	25—∞	p
Fototeodolitul TAF	Aerotopograf R.F.G.	13 × 18	160	1:25 constant	0	0	2 —∞	p
Fototeodolitul MK 165	Sokkisha Japonia	12 × 16,5	165			0		p
Cameră universală UMK 10/1318 FP FF ND NF	Carl Zeiss Jena—R.D.G.	13 × 18	100	1:8 valabil 8...3	88 / 68g	0, v și î (+90 la —30° din 15° în 15°)	25—∞ / 2,1—∞	p p/f p p/f
Fototeodolitul Wild P 30	Wild Elveția	10 × 15	165	1:12 constant	60°	0, i (+7°, 28° din 7° în 7°)	30 ∞	p
Cameră terestră universală Wild P31	Wild Elveția	9 × 12	100	1:5,6 variabil 5,6—22	67,5°	0, v, i (±7°, ±14°; ±25, ±30, ±100)	25—∞ (cu lentile adiționale)	p/f
Cameră terestră Wild P 32	Wild Elveția	6,5 × 9	64	1:8 8...2	—	0, i (0—40°)	3,3—∞	p/f
Cameră terestră TMK-6	Zeiss Oberkochen R.F.G.	9 × 12	60	1:11 constant	72	0, v, i (±30, ±70°; ±100)	2,5 ∞	f/p
Cameră terestră TMK-12	Zeiss Oberkochen R.F.G.	9 × 12	120	1:8 8...16	72°	0, v, i (±30°; ±70°; 100)	20—∞	f/p
Fototeodolit FTG-1	Galileo Italia	10 × 15	155	—	—	0, i (0—40°)	1 —∞	p/f
Verostat	Galileo Italia	9 × 12	100	—	—	0, v, i (0—100°)	2—∞	p
Veroplast	Galileo Italia	3 × 18	150	1:6,3 6,3...25	—	0, v, i (0—100°)	2—∞	p

Tabelul XV.11

Caracteristici tehnice ale camerelor stereometrice

Denumirea	Producătorul	Distanța focală mm	Unghi de câmp pe orizontală și verticală [grade]	Mărimea bazei [cm]	Înălțimea de instalare m	Formatul fotogramelor [cm × cm]	Intervalul de fotografiere m	Axa de fotografiere	Suportul emulsiei: placă	Suportul emulsiei: film	Particularități
SMK 5,5/0808.40	Karl Zeiss R.D.G.	56		40	1,5	9 × 12	1,5 – 10	0, v, i, în trepte din 15 în 15°	da		Baza poate fi orizontală și verticală, se poate introduce la fiecare cameră o convergență de 0g la 12g. Baza poate fi așezată și vertical
SMK 5,5/0808.120				120	2,7		5 – 30				
Stereocamera UMK 10/1318		100		35 – 160	0,6 – 2,1	13 × 18	1 – 10	0, i (0 la 50g)	da	da	
Stereocamera Wild C-4	Wild Elveția	6,4	71g	40	1,5 – 2,5	6,5 × 9	1 – 10	0, v, i (0, 10, 30, 60°, 80, 90°)	da	—	Baza poate fi așezată și vertical
Wild C-40			35,6g	120							
Wild C-120							5 – 30	0, v, i (0, 25g, 15g, 0, 15g)			
Stereocamera SMK-40	Zeiss Oberkochen R.F.G.	60		40	1,3 – 2,5	9 × 12	2,5 – 10	0, v, i	da		Cu lentile suplimentare se poate prelua și un interval 0,5 – 2,5 m
Stereocamera SMK-120				120			5 – 50				
Verosta	Cahleo	100 150		120 – 55	1,3 – 2,6	9 × 12	2 – ∞	0, i (0° – 28g)	da		— Se poate introduce o convergență de pînă la 15g
Veroplast	Italia			200 – 300		13 × 18	1,6 – ∞	0, v, i	da		
Tecnoster A		75		16,5 70		6,5 × 9,5	0,6 – ∞	0, i (±20g)			
Tecnoster B		150		100 – 200 30 – 70	0,5 – 2,6	23,5 × 23,5	1,6 – 2,6	0, i (±5,5 la 50g)			
DMK 100/1318	Ascania Elveția	100		30 – 85	1 – 1,5	13 × 18	1 – ∞	0, i, v	da	—	— Punctul principal poate fi deplasat
Stereo ST 40	Asahi			40		6,5 × 9	2,5 – 10	v	da	—	
Stereo ST 120	Asahi	65				6,5 × 9	5 – 10	0, v, i (3,33g și 6,66g)	da	—	
ST-120	Nikon	60		120 45	1,5 – 2,5	6,5 × 9	9				
SKB 40				25 ; 35		9 × 12	< 5	0			
SKB 120								0, i, (30g)			
B-54	Sokkisha Japonia			50	1,3 – 1,8	12 × 16,5	1 – ∞	0, i (±15g)			
V-3		121		30 ; 50			0,5 – ∞				
KSK-100		90		100			1 – ∞				

analogică prin izohnii sau curbe de nivel. Se deosebesc mai multe metode de exploatare a fotogramelor în vederea reconstituirii formei obiectelor reale (tabelul XV.9), folosirea uneia sau alteia din metode fiind în funcție de poziția obiectului în spațiu, de depărtarea lor și de elementele necesare în determinare. În general, în fotogrammetria terestră axele de fotografiere se consideră orizontale, perpendiculare pe planul imaginii și numai în cazuri speciale sînt înclinate cu un unghi ω cunoscut față de orizontală. Această condiție simplifică mult operațiile de reconstituire spațială. Redarea formei și poziției obiectelor în spațiul real impune cunoașterea elementelor de orientare a fotogramelor (v. 5.2.4), elemente care în cazul fotogrammetriei terestre pot fi determinate prin metode geodezo-topografice.

5.5.1. FOTOGRAMMETRIA CU O IMAGINE.

Fotogrammetria cu o imagine se caracterizează prin aceea că prin exploatarea fotogramei se obține numai poziția în plan XZ a obiectului real. Metoda este avantajoasă pentru determinarea obiectelor dispuse mai mult în plan vertical cu suprafețe netede. În topografie se folosește pentru realizarea relevee lor, pentru urmărirea comportării construcțiilor industriale și civile, iar în activitatea subterană pentru determinarea secțiunilor transversale ale lucrărilor miniere sau a urmăririi deformării lucrărilor miniere subinfluența presiunilor.

Prelucrarea imaginilor singulare se realizează cu fototeodolite din puncte de stație stabile, a căror poziție în spațiu este cunoscută. Fotografierea se face de la distanța convenabilă care să asigure înregistrarea pe fotogramă a întreagii suprafețe a obiectului fotografiat (clădiri, secțiuni ale lucrărilor miniere etc.). Distanța de fotografiere se stabilește cu relațiile (fig. XV.97):

$$Y = \frac{X}{x'} f \; ; \qquad Y = \frac{Z}{z'} f \qquad (5.16)$$

în care: X, Z sînt dimensiunile obiectului fotografiat; x', z' — dimensiunile utile ale fotogramei; f — distanța focală a obiectivului.

Și în vederea reprezentării la scară, cît și pentru determinarea poziției obiectelor este necesară existența unui număr de repere pe obiect, care să se înregistreze și pe fotogramă.

Punctele de reper pot fi materializate prin două mire perpendiculare între ele, una dispusă în plan orizontal și cealaltă în plan vertical, încît să se poată controla scara reprezentării pe cele două direcții. Fotografierea se poate efectua cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe planul obiectului sau cu axa de fotografiere deviată față de normală (fig. XV.98).

Dispunerea axei de fotografiere perpendiculară pe obiect se realizează cu ajutorul echerelor, care asigură o precizie de $+5''$ pentru distanța de 15—20 m. Prelucrarea foto-

gramelor se poate realiza pe cale numerică sau grafic, cu ajutorul unui aparat de proiecție. Oricare ar fi metoda de prelucrare, trebuie stabilită scara de reprezentare. În cazul fotogramelor preluate cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe obiect, scara este dată de:

$$m_l = \frac{Y}{f} = \frac{S_h}{s'_h} = \frac{S_v}{s'_v} \qquad (5.17)$$

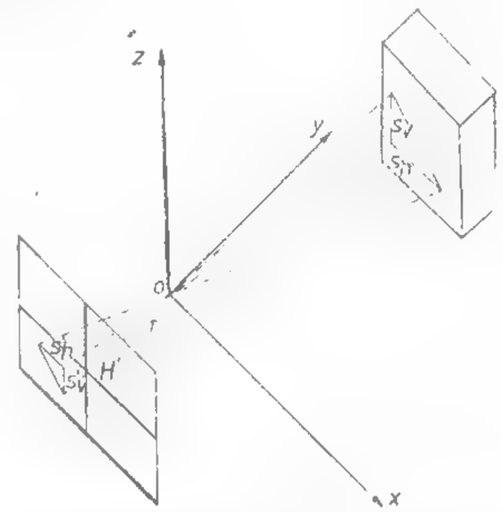


Fig. XV.97. Fotografierea imaginilor cu axa perpendiculară pe planul obiectului.

unde: Y este distanța între punctul de stație și planul fotografiat; f — distanța focală a aparatului de fotografiat; S_h, S_v sînt mirele reper dispuse în plan orizontal și vertical; s'_h, s'_v — imaginile mirelor semnal.

Numeric, fotogramele se prelucrează cu ajutorul relațiilor

$$X_i = m_l \cdot x' \; ; \quad Z_i = m_l \cdot z' \qquad (5.18)$$

în care: X_i Z_i sînt coordonatele spațiale ale punctelor obiect; x', z' — coordonatele fotogrammetrice;
și se măsoară pe fotogramă cu ajutorul unui comparator.

În cazul în care fotografierea s-a efectuat cu axa deviată cu unghiul φ față de normală, coordonatele X_i, Z_i ale punctelor reale se calculează cu relațiile (fig. XV.98) — pentru X:

$$\frac{x'}{f} = \frac{(x)}{Y + \Delta Y} = \frac{X \cos \varphi}{Y + X \sin \varphi} \qquad (5.19)$$

din care

$$X = \frac{Y \cdot x'}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \qquad (5.20)$$

sau:

$$m_{lx} = \frac{Y}{f \cos \varphi - x' \sin \varphi} \qquad (5.21)$$

– determinarea scării pentru Z

Pentru dreptele ce trec prin punctul H scara va fi dată de raportul

$$m_{hz} = \frac{Y}{f} \cos^2 \varphi \quad \text{(fig. XV.99)} \tag{5.22}$$

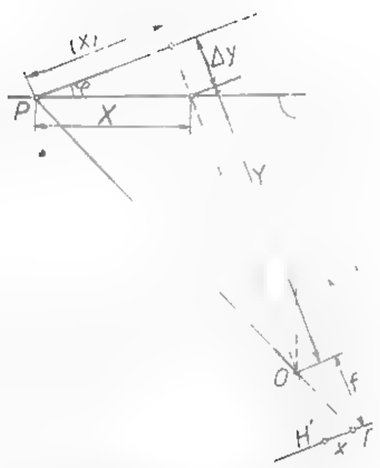


Fig. XV.98. Fotografierea imaginilor cu axa de fotografiere deviată cu unghiul φ.

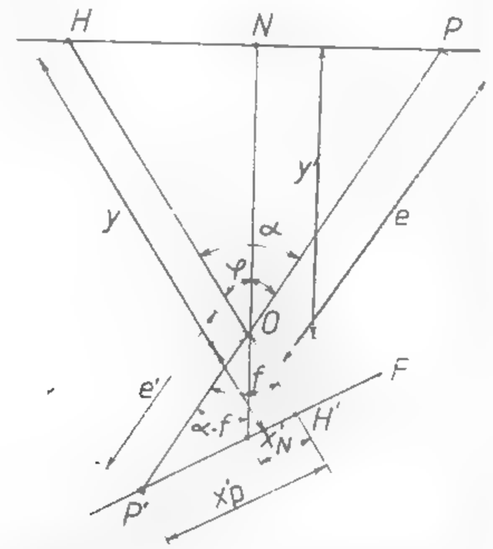


Fig. XV.99. Determinarea scării imaginii pe direcția Z.

Pentru dreptele verticale ce trec printr-un punct oarecare P, scara pentru Z va fi dată de relația (fig. XV.99)

$$m_{lz_P} = \frac{f}{x'_{P'}} \tag{5.23}$$

unde

$$x'_{P'} = \frac{Y \cos \varphi}{\cos (\alpha - \varphi)} \; ; \qquad f = \frac{Y}{\cos \alpha} \tag{5.24}$$

atunci

$$m_{lz_P} = \frac{Y \cos \varphi \cdot \cos \alpha}{f \cos (\alpha - \varphi)} = \frac{Y}{f} (1 + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi) \tag{5.25}$$

La

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{f}{x'_{P'}}$$

$$m_{bz_P} = \frac{Y}{f} \left(1 + \frac{f \cos \varphi}{x'_{P'} \sin \varphi} \right) \tag{5.26}$$

$$Z_P = m_{bz_P} \cdot z'_{P'} \tag{5.27}$$

5.5.2. FOTOGRAMMETRIA CU DOUĂ IMAGINI

Practic fotogrammetria cu două imagini se manifestă sub două forme: 1) *fotogrammetria prin intersecție* și 2) *stereofotogrammetria*.

Fotogrammetria prin intersecție se folosește atunci cînd depărtarea obiectului față de bază este foarte mică, respectiv raportul $\frac{Y}{b} \approx 1$. Este avantajoasă în cazul obiectelor abrupte cu suprafețe denivelate, cînd punctele omoloage pe cele două imagini sînt ușor de identificabile și definite. Metoda are avantajul că se obține o precizie de determinare echivalentă pe cele trei axe $m_x \simeq m_y \simeq m_z$. Prin faptul că punctele omoloage trebuie să fie foarte bine definite pe fotograme, precum și exploatarea se poate face numai analitic, numai punct cu punct, metoda este încă puțin aplicată.

Coordonatele fotogrammetrice se pot obține fie cu ajutorul unui stereocomparator, fie individual.

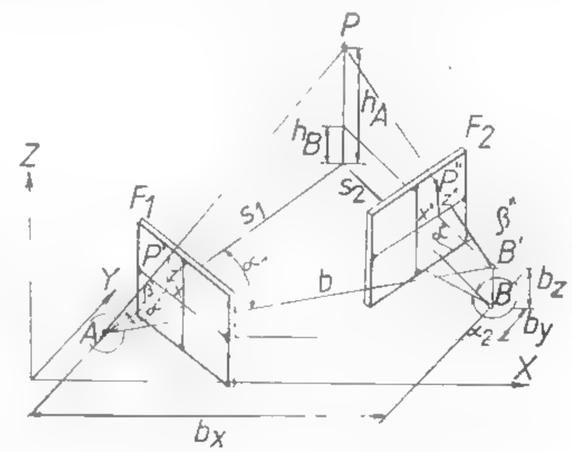


Fig. XV.100. Fotogrammetria prin intersecție.

Fie punctele A și B de capăt ale bazei a cărei lungime și orientare o cunoaștem. Se efectuează două fotograme cu axele de fotografiere orizontale perpendiculare pe planul fotogramei și convergente cu unghiurile σ_1 și σ_2. Poziția punctelor izolate se determină prin intersecție înainte, cu ajutorul unghiurilor orizontale α_1 și α_2 (fig. XV.100):

$$\alpha_1 = \sigma_1 - \alpha \; ; \quad \alpha_2 = \sigma_2 - \alpha' \tag{5.28}$$

Unghiurile α', α'', β', β'' se determină din coordonatele fotogrammetrice în relațiile :

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{x'}{f} \; ; \qquad \operatorname{tg} \beta' = \frac{z' \cos \alpha'}{f} \tag{5.29}$$

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{x''}{f} \; ; \qquad \operatorname{tg} \beta'' = \frac{z'' \cos \alpha''}{f}$$

Față de sistemul de referință spațial cu originea în punctul A și cu axa X în direcția bazei, rezultă :

$$X_P = s_1 \cos \alpha_1 = b - s_2 \cos \alpha_2$$

dar :

$$Y_P = s_1 \sin \alpha_1 = s_2 \sin \alpha_2 \tag{5.30}$$

$$s_1 = \frac{b \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \; ; \qquad s_2 = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{5.31}$$

deci

$$X_P = \frac{b \sin \alpha_2 \cos \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \; ; \qquad Y_P = \frac{b \sin \alpha_2 \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{5.32}$$

sau

$$X_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \; ; \qquad Y_P = \frac{b \operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2} \tag{5.33}$$

Pentru calculul cotei Z_P se vor folosi relațiile

$$h_A = s_1 \operatorname{tg} \beta' \; ; \qquad h_B = s_2 \operatorname{tg} \beta''$$

sau

$$h_A = \frac{b \sin \alpha_2 \operatorname{tg} \beta'}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \; ; \qquad h_B = \frac{b \sin \alpha_1}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)} \operatorname{tg} \beta'' \tag{5.34}$$

În cazul punctelor bine definite, relațiile de calcul pot fi programate pentru calcul automatizat. Pentru obținerea unor valori corecte trebuie să existe pe obiectul real o rețea de reper cu ajutorul cărora se vor determina unghiurile de convergență σ_1 și σ_2.

Pentru o precizie ridicată este indicată orizontalizarea perfectă a axei de fotografiere și-o bună centrare a aparatului în punctele de stație.

Convergența extremă. În cazul obiectelor foarte apropiate de bază (cînd $\frac{Y}{b} > 1$) pentru determinare se folosește *convergența extremă*. Practic în acest caz unghiurile de convergență $\sigma_1 = \sigma_2 = 200^g$. În fig. XV.101 se observă

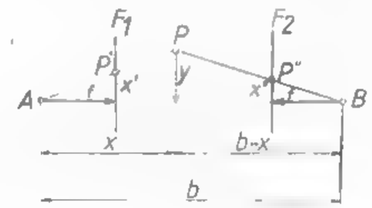
$$\frac{Y}{X} = \frac{x'}{f} \; ; \qquad \frac{Y}{b - X} = \frac{x''}{f} \tag{5.35}$$

sau

$$\frac{Y X}{f} = \frac{x'' (b - X)}{f} \tag{5.36}$$

$$X (x' + x'') = x'' b$$

Fig. XV.101. Convergența extremă.



de unde

$$X = \frac{x'' b}{x' + x''} \tag{5.37}$$

Înlocuind în relația (5.35) se obține relația lui Y

$$Y = \frac{x'}{f} \cdot \frac{x'' b}{x' + x''} \quad \text{și} \quad Z = \frac{z'}{f} \cdot \frac{b x'}{x' + x''} \tag{5.38}$$

Stereofotogrammetria terestră. Metoda stereofotogrammetriei se folosește atunci cînd obiectul real se află la o distanță mare de baza de fotografiere, iar numărul punctelor de determinat este foarte mare. Pentru ca fotogramele să redea modelul spațial, trebuie să îndeplinească condițiile vederii stereoscopice, respectiv axele de fotografiere să fie riguros paralele între ele, iar între imagini să existe paralaxă stereoscopică ($p = x' - x''$). În general, axele de fotografiere sînt orizontale, ele pot fi însă și înclinate sub un unghi oarecare ω. După modul cum sînt orientate axele de fotografiere față de bază, deosebim în stereofotogrammetria terestră (fig. XV.102) : cazul normal și cazul paralel deviat.

Cazul normal. Este cazul cel mai frecvent în practică. Axele de fotografiere sînt orizontale paralele și perpendiculare la bază. Coordonatele punctelor obiectului real se determină cu relațiile din (fig. XV.103)

$$Y_P = \frac{b y'}{p} \tag{5.39}$$

$$X_P = \frac{b x'}{p} = \frac{Y}{f} x' \tag{5.40}$$

$$Z_P = \frac{b}{p} \cdot \frac{Y}{f} \qquad (5.41)$$

unde: $\frac{1}{m} = \frac{f}{Y}$ este scara modelului (5.42)

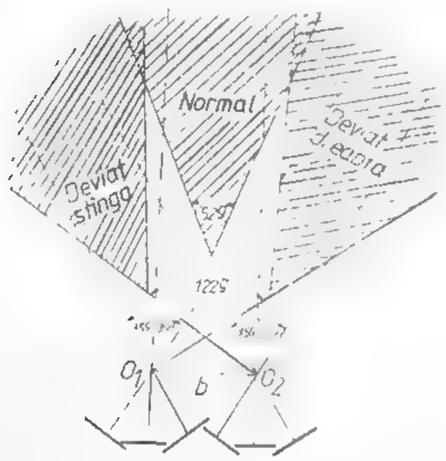


Fig. XV.102. Cîmpul de vedere al fototeodolitului pentru cazul normal și paralel deviat.

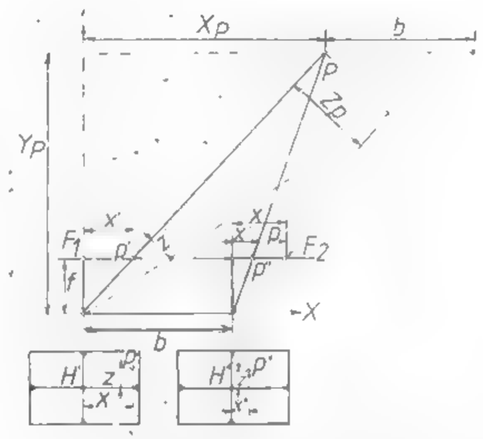


Fig. XV.103. Cazul normal al stereofotogrammetriei terestre.

Cazul paralel deviat. Acest caz se folosește în stereofotogrammetria terestră pentru creșterea cîmpului de fotografiere. Axele de fotografiere sînt paralele, orizontale, paralele între ele, dar deviate în același sens față de normala la bază cu un unghi φ (fig. XV.104). Mărimea unghiului de deviere este în funcție de unghiul de cîmp al obiectivului fotogrammetric. Este de remarcat că la creșterea unghiului de deviere (φ = 50°—60°) scade raportul $\frac{b'}{Y}$, ceea ce influențează negativ restituția și precizia de determinare.

Pentru fototeodolitul Photeo 19/1318, φ = 35g, cu această valoare a dezvierii fotogramele se suprapun peste cele normale și mărește unghiul de vedere al camerei la 125g pentru un punct de stație. În cazul fotografierii cu obiective grandangular se poate renunța la fotografierea paralel deviată.

Relațiile de calcul a coordonatelor punctelor din spațiul real vor fi, conform figurii XV.104:

$$Y = \frac{f}{p}\left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \sin \varphi\right)$$

$$X = \frac{Y}{f} x' = \frac{x'}{f}\left(b \cos \varphi \pm \frac{x''}{f} b \cos \varphi\right) \qquad (5.43)$$

$$Z = \frac{Y}{f} z' = \frac{z'}{f}\left(b \cos \varphi \pm \frac{x'}{f} b \sin \varphi\right)$$

$$b \cos \varphi \pm \frac{x'}{f} b \sin \varphi = b' \qquad (5.44)$$

poartă denumirea de *bază de lucru* sau *efectivă*.

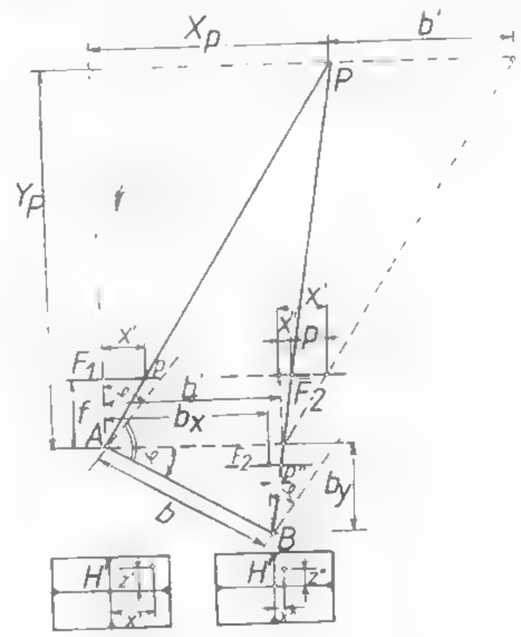


Fig. XV. 104. Cazul deviat al stereofotogrammetriei terestre.

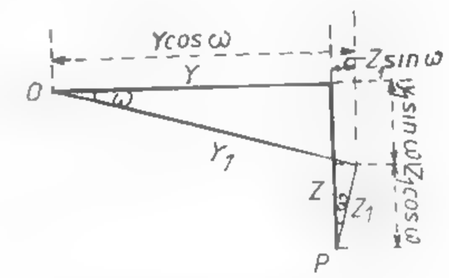


Fig. XV.105. Cazul inclinat al fotogrammetriei terestre.

Semnul + sau — se ia în funcție de felul dezvierii și anume: + pentru dezvierea dreaptă și — pentru stînga. Fotografiile deviate se efectuează legat de cele normale la bază.

Cazul înclinat. Considerăm caz înclinat în fotogrammetria terestră atunci cînd axa de fotografiere nu este orizontală, ci face un unghi ω ≠ 0. Coordonatele punctelor obiectului real se vor calcula conform fig. XV.105, cu relațiile:

$$X = \frac{b}{p} x'; \quad Y = \frac{b}{p} f\left(\cos \omega \pm \frac{z'}{f} \sin \omega\right) \qquad (5.45)$$

$$Z = \frac{b}{p} z'\left(\cos \omega \pm \frac{f}{z'} \sin \omega\right)$$

Aceste transformări ale coordonatelor măsurate pe fotogramele înclinate în coordonate în spațiale ale punctelor față de sistemul tridimensional normal se realizează practic prin redresare cu ajutorul unui dispozitiv anex aparatului de restituție, denumit *calculator*

de înclinare, care este interpus între restituitor și masa de desen. Cazul înclinat în fotogrammetria terestră apare tot mai mult datorită aparaturii de preluare construită pentru posibilități mai largi de folosire.

5.5.3. FOTOGRAMMETRIA PARALACTICĂ CU BAZĂ TIMP

Este o metodă relativ nouă a fotogrammetriei terestre și se bazează pe măsurarea paralaxei pe fotograme singulare înregistrate consecutiv în timp și orientate identic. Cu ajutorul acestei metode se poate determina modificarea poziției punctelor obiectului în timp. Este avantajoasă pentru determinarea deformațiilor construcțiilor sau a obiectelor industriale și miniere în timp.

Pentru aceasta se vor efectua două fotografieri asupra aceluiași obiect cu aceleași elemente de orientare într-un interval de timp dat (baza de timp). Diferența de imagine a celor două fotograme executate la timpul t_1 și t_2 va constitui paralaxa stereoscopică, care va determina schimbarea poziției spațiale a punctului P_{t_1} și P_{t_2} (fig. XV. 106).

Componentele schimbării poziției punctelor obiectului paralel cu planul imagine vor fi date de relațiile

$$\Delta X = m_1 \cdot p'_x \; ; \; \Delta Z = m_1 \cdot p'_z \qquad (5.46)$$

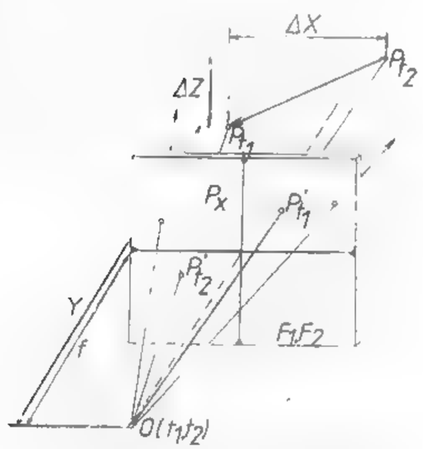


Fig. XV.106. Fotogrammetria cu bază de timp.

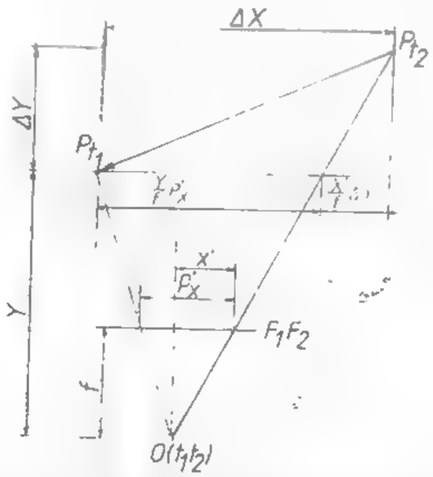


Fig. XV.107. Fotogrammetria cu bază de timp cu modificarea distanței la obiect.

în care: $m_1 = \frac{Y}{f}$ este numitorul scării imaginii; p'_x și p'_z sînt paralaxele stereoscopice pentru coordonatele fotogrammetrice x' și z'.

Mărimea acestor paralaxe se vor măsura cu ajutorul unui stereocomparator. Dacă punctele obiect își schimbă poziția și pe direcția Y, atunci componentele deplasării punctelor obiect se vor calcula cu relațiile (fig. XV. 107)

$$\Delta X = m_b \, p'_x + \frac{x'}{f} \Delta Y; \quad \Delta Z = m_b \, p'_z + \frac{z'}{f} \Delta Y \qquad (5.47)$$

5.6. APARATE DE RESTITUȚIE FOLOSITE ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

Cu ajutorul aparatelor de restituție se reprezintă obiectele fotografiate pe baza măsurătorilor efectuate pe fotograme. După modul de reprezentare a obiectului măsurat se împart în: *aparate de restituție analogice, aparate de restituție numerică, aparate de proiecție fotografică.*

5.6.1. APARATE DE RESTITUȚIE ANALOGICĂ

Au la bază principiul analogiei geometrice. Reconstituirea se realizează pe cale mecanică, obiectul măsurat se redă grafic la scară. Pentru restituția stereofotogramelor terestre pot fi folosite aparate de stereorestituție analogică sau aparate construite special pentru stereorestituția terestră. Această din urmă grupă de aparate este mult simplificată față de prima. În tabelul XV. 12 sînt prezentate cîteva tipuri de aparate construite numai pentru stereorestituția terestră.

Tabelul XV.12

Caracteristici tehnice ale principalelor aparate de stereorestituție terestră

Tipul aparaturii	Firma constructoare	Formatul imaginii [cm]	Distanța focală [mm]	Convergența [grade]	bx. min.	Masa de desen
Tecnocartul	Zeiss-Jena	4×4—23×23	50—215	—2—6	0—240	600 × 800
Stereoautograful 1318	Zeiss-Jena	13×18	157—198	—2—5	0—60	800 × 800
Terragraph	Zeiss-Oberkochen	9×12	52—67	—	0—50	120 × 120
Autograf A40	Wild — Elveția	9×12	54—100	—	—	

Tehnocartul. Este cel mai recent aparat de stereorestituție terestră construit de firma VEB Carl Zeiss Jena R.D.G. (fig. XV. 108). Tehnocartul permite restituția fotogramelor de toate formatele pînă la 23×23 cm, sub formă de negative sau pozitive pe suport de sticlă sau hîrtie și cu distanțe focale cuprinse între 50 și 215 m.

Restituie, de asemenea, stereograme normale, paralele deviate și înclinate. În acest ultim caz folosește un calculator de înclinare. Restituția grafică se efectuează pe o masă

de desen. Raportul de transmisie al aparatului la masa de desen poate fi schimbat în 21 scări între 0,16 şi 6,25 ori. Cartografierea se realizează în trei plane de proiecţie XY, XZ, YZ.

Tehnocartul este construit pe principiul paralelogramului Zeiss, cu rezolvare mecanică analogă pentru fiecare cameră de proiecţie a imaginii. Stereorestituitorul are posibilitatea restituirii numerice, pentru care este prevăzut cu nişte contoare numerice divizate.

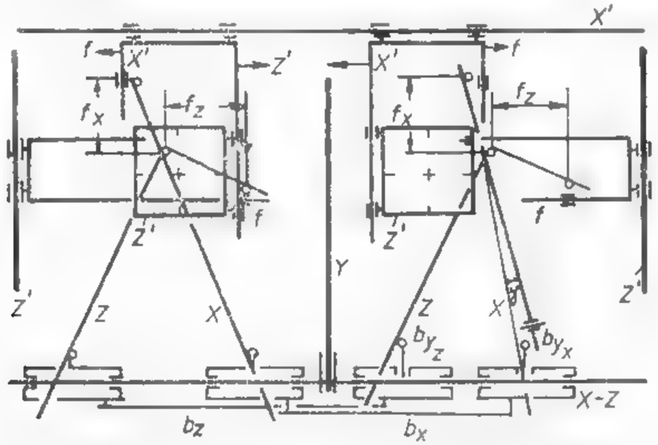


Fig. XV.108. Schema de principiu a tehnocartului.

Restituţia la tehnocart. Pentru a restitui un cuplu stereoscopic cu ajutorul unui aparat de stereorestituţie, trebuie ca acesta să fie orientat în apratul respectiv. Orientarea stereogramelor, aşa cum s-a arătat în 5.2.4., cuprinde orientarea interioară şi exterioară care, la rîndul ei, este relativă şi absolută.

Orientarea interioară se realizează prin introducerea distanţei focale a obiectivului aparatului de prelucrare la cele patru contoare c_k ale restituitorului, cu o precizie de 0,02 mm, iar punctul principal al fotogramelor prin suprapunerea reperelor fotogrammetrice ale fotogramelor pe axele portclişeelor aparatului de restituţie.

După efectuarea orientării interioare, pentru a obţine modelul stereoscopic la o scară dorită, se realizează orientarea exterioară relativă, care constă în introducerea componentei bazei de fotografiere în aparat. Scara modelului se alege în funcţie de depărtarea y_{max} şi y_{min} de fotografiere şi posibilitatea de deplasare a axei pe direcţia Y' a aparatului şi de scara de restituţie, astfel ca să poată fi restituite cît mai multe puncte

$$m_m = \frac{y_{max}}{y'_{max}}; \qquad m_m = \frac{y_{min}}{y'_{min}} \tag{5.48}$$

Astfel pentru $y_{max} = 700$ m şi $y_{min} = 140$ m

$$m_m = \frac{700}{0{,}35} = 2000 \quad \text{respectiv} \quad m_m = \frac{140}{0{,}035} = 4000$$

Deci scara modelului poate fi aleasă între 1:2000 şi 1:4000. Componentele bazei se calculează cu relaţiile:

– pentru cazul normal:

$$b_x = \frac{b}{m_m}; \qquad b_z = \frac{h}{m_m} \tag{5.49 a}$$

– pentru cazul paralel deviat:

$$b_x = \frac{b \cos \varphi}{m_m}; \qquad b_y = \frac{b \sin \varphi}{m_m}; \qquad b_z = \frac{h}{m_m} \tag{5.49 b}$$

în care: b este baza de fotografiere; h — diferenţa de cote dintre capetele bazei; φ – unghiul de deviere.

Orientarea exterioară absolută se realizează cu ajutorul reperelor fotogrammetrice a căror coordonate geodezice sînt cunoscute. Aceste puncte de reper se raportează pe planşa de pe masa de desen la scara de restituţie. După ce au fost stabilite şi introduse la stereorestituitor şi la masa de desen, roţile dinţate pentru transformarea scării modelului la scara de restituţie se punctează pe modelul stereoscopic cu *marca reper* unul din repere, iar trasorul de la masa de desen se va conduce pe punctul corespunzător pe planşă. Se punctează apoi un alt punct al modelului, iar planşa se va roti în jurul primului punct pînă cînd punctul corespunzător de pe planşă va veni sub dispozitivul trasor. Pentru control se va proceda în acelaşi mod şi pentru alte repere.

Pentru introducerea originii pentru cote se punctează un reper fotogrammetric şi menţinînd marca pe punct (la nivelul terenului) se introduce la contoarul de cote valoarea cotei geodezice a punctului respectiv. Se punctează apoi alt reper de cotă cunoscută şi se compară cu cele geodezice, diferenţele între cote nu trebuie să depăşească 10 cm.

Pe planşele astfel orientate se vor trasa elementele de planimetrie sau relieful terenului. Obţinerea restituţiei în planul de proiecţie dorit depinde de modul de conectare a masei de desen la direcţiile de deplasare a stereorestituitorului.

5.6.2. APARATE DE RESTITUŢIE NUMERICĂ

Sînt aparatele care redau obiectul sub forma unor puncte de coordonate spaţiale cunoscute. Pentru determinarea coordonatelor spaţiale se efectuează măsurători pe imaginile fotografice cu ajutorul mono sau stereocomparatoarelor. Printr-o prelucrare pur numerică, cu ajutorul relaţiilor stabilite în § 5.5.2.2 se obţin coordonatele spaţiale ale modelului sub forma unui inventar de coordonate. Coordonatele punctelor modelului se transformă în coordonate geodezice cu ajutorul relaţiilr (5.53). Pentru restituţia fotogramelor terestre, firma Zeiss Jena a construit stereocomparatorul Steko 18 × 18. Aparatul permite măsurarea punct cu punct a modelului stereoscopic cu o precizie de 0,01 mm şi cu o precizie de 0,005 mm a paralaxelor.

5.6.3. APARATE DE RESTITUŢIE ANALITICĂ

Pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate pe imaginile fotografice, coordonatele modelului stereoscopic şi coordonatele geodezice, coordonatele modelului stereoscopic şi coordonatele geodezice ale punctelor se calculează cu ajutorul calculatoarelor electronice

Din această categorie de aparate fac parte: Analiticul Plotter AP/1, AP-2, AS-11, produse de firma OMI Italia şi Beudix Corporation.

Aceste aparate se folosesc pentru măsurători de precizie la scări mari, eficienţa lor economică fiind condiţionată de posibilitatea automatizării întregului flux de operaţii. Noile aparate automatizate se caracterizează prin faptul că nu se mai apelează la operatorul uman pentru efectuarea identificării punctelor omoloage, ci se efectuează automat cu ajutorul unui *corelator de imagini*.

5.6.4. APARATE CU PROIECŢIE FOTOGRAFICĂ

Fotograma, imagine fotografică metrică, în proiecţie centrală este o reprezentare analogică a obiectului măsurat. Datorită acestui fapt ea poate fi prelucrată prin proiecţie fotografică pentru a fi transformată la scara dorită. Transformarea la scară se poate realiza cu ajutorul aparatelor de mărit cu caracteristici tehnice adecvate negativului. Dacă axa de fotografiere n-a fost perpendiculară pe obiectul fotografiat, transformarea acesteia într-o fotogramă nedeformată se realizează prin fotoredresare cu ajutorul unor aparate special construite acestui scop.

5.7. ERORI ÎN DETERMINAREA COORDONATELOR PUNCTELOR SPAŢIALE

5.7.1 DETERMINAREA ERORILOR

Coordonatele spaţiale ale punctelor din spaţiul obiect depind de elemente măsurate direct, elemente ce sînt influenţate de erori. Cunoaşterea acestor erori este necesară pentru corectarea rezultatelor obţinute, fie prin impunerea unor condiţii de lucru, fie prin alegerea unei aparaturi adecvate care să asigure sau să ridice precizia în determinarea coordonatelor.

Pornind de la relaţiile (5.39)—(5.41) ce exprimă coordonatele unui punct în cazul normal al fotogrammetriei terestre, prin diferenţierea acestora se obţine

$$dY = \frac{Y}{f}\,db + \frac{Y}{f}\,df - \frac{Y^2}{bf}\,dp \qquad (5.50)$$

$$dX = \frac{X}{Y}\,dx + \frac{X}{x'}\,dx' - \frac{X}{f}\,df \qquad (5.51)$$

$$dZ = \frac{Z}{Y}\,dy + \frac{Z}{z'}\,dz' - \frac{Z}{f}\,df \qquad (5.52)$$

Din relaţia (5.50) se observă că influenţa cea mai mare asupra determinării lui Y o are ultimul termen datorită exponentului pătratic. Analizînd acest termen se vede că eroarea de măsurare a paralaxei este afectată de măsurarea celor două coordonate fotogrammetrice x' şi x'' care, la rîndul lor, sînt afectate de elementele de orientare interioară şi exterioară a fotogramelor. În tabelul XV.13 sînt date erorile de măsurare ce influenţează asupra erorii ΔY, precum şi provenienţa acestora.

Se vede, de asemenea, că eroarea lui Y este invers proporţională cu mărimea bazei şi a distanţei focale, deci pentru obţinerea unor erori mici vor fi optime bazele mari şi aparatele de fotografiat cu distanţe focale mari. Din analiza relaţiilor (5.51) şi (5.52) rezultă că eroarea ΔY intervine şi în determinarea erorilor pentru coordonatele X şi Z.

Tabelul XV.13

Erori de măsurare ce influenţează asupra erorii ΔY

Natura erorii	Simbol	Mărimea erorii
Eroarea datorită punctului principal H'	dx'_H, dx'_H	$\frac{Y^2}{bf}(dx'_{H'} - dx'_{H''})$
Eroarea de distanţă focală	df_1, df_2	$\frac{Y}{bf}[X(df_1 - df_2) + b\,df_2]$
Eroarea de bază	db	$\frac{Y}{b}\cdot db$
Eroarea de orientare a axelor de forografiere	$d\varphi_1$, $d\varphi_2$	$\frac{Y^2 + X^2}{b}\cdot d\varphi_1 - \frac{Y^2 + (X-b)^2}{b}\cdot d\varphi_2$
	$d\omega_1$, $d\omega_2$	$\frac{Z}{b}[X(d\omega_2 - d\omega_1) - b\,d\omega_2]$
	$d\varkappa_1$, $d\varkappa_2$	$\frac{XY}{b}(d\varkappa_2 - d\varkappa_1)$

5.7.2 CORECTAREA ERORILOR

Influenţa erorilor mai sus arătate asupra modelului poate fi stabilită cunoscînd în spaţiul modelului, coordonatele spaţiale ale unor puncte bine definite şi identifiabile care să fie înregistrate prin fotografiere pe cuplu stereoscopic. Comparînd aceste coordonate adevărate ale punctelor reper cu coordonatele lor obţinute prin restituţie se realizează un control şi un mijloc de ameliorare a elementelor de orientare exterioară şi interioară. Cu aceste îmbunătăţiri ale elementelor de orientare se vor calcula coordonatele punctelor din spaţiul obiect.

5.7.3. TRANSCALCULAREA COORDONATELOR SPAŢIALE XY ÎN SISTEMUL GEODEZIC $\bar{X}$, $\bar{Y}$

Pentru transcalcularea coordonatelor spaţiale în sistemul forografic $\bar{X}$, $\bar{Y}$ (fig. XV.109) se folosesc următoarele grupuri de relaţii.

Transformarea Helmert transcalculează la scară coordonatele X şi Y. Se folosește pentru $n > 2$.

$$X = ax + by + C_1 = a\Delta x + b\Delta y + X_S \qquad (5.53)$$
$$Y = bx + ay + C_2 = b\Delta x + b\Delta y + Y_S$$

unde: n este numărul punctelor de transformare; a, b — coeficienţi de transformare; C_1, C_2 — coeficienţi de deplasare a originii sistemului spaţial XY.

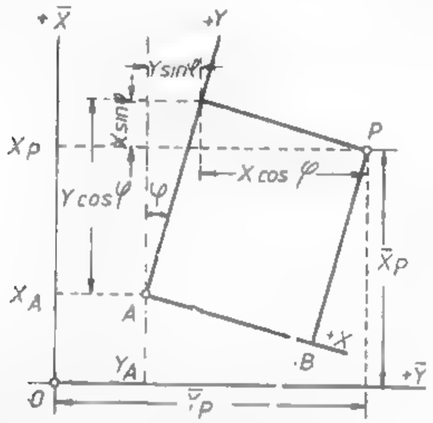


Fig. XV.109. Transcalcularea coordonatelor spaţiale ale modelului stereoscopic în coordonate geodezice.

$$a = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta X_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta Y_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A}{N}$$

$$b = \frac{(\Delta X_i \cdot \Delta \bar{Y}_i) + (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)}{(\Delta X_i \cdot \Delta X_i) + (\Delta Y_i \cdot \Delta Y_i)} = \frac{B}{N} \qquad (5.54)$$

$$C_1 = \bar{X}_S - aX_S + bY_S; \; C_2 = \bar{Y}_S - aY_S - bY_S \qquad (5.55)$$

$$\bar{X}_S = \frac{(\bar{X}_i)}{n}; \qquad \bar{Y}_S = \frac{(\bar{Y}_i)}{n}$$

$$X_S = \frac{(X_i)}{n}; \qquad Y_S = \frac{(Y_i)}{n} \qquad (5.56)$$

$$\Delta X_i = X_i - X_S; \quad \Delta Y_i = Y_i - Y_S$$
$$\Delta \bar{X}_S = \bar{X}_i - \bar{X}_S; \quad \Delta \bar{X}_S = \bar{Y}_i - \bar{Y}_S \qquad (5.57)$$

unde: $\bar{X}_i, \bar{Y}_i$; X_i, Y_i sînt coordonatele punctelor reper în cele două sisteme.

Transformarea afină se foloseşte pentru $n = 3$. Cu această transformare, erorile sistematice pot fi mai bine corectate.

$$\bar{X} = a_1X + b_1Y + C_1 = a_1X + b_1Y + \bar{X}_S$$
$$\bar{Y} = a_2Y + b_2X + C_2 = a_2X + b_2Y + \bar{Y}_S \qquad (5.58)$$

$$a_1 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta Y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{X}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)}{(\Delta x_i \cdot \Delta x_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta y_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)} = \frac{A_1}{N}$$

$$b_1 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{X}_i)\Delta x_i \cdot \Delta y_i}{N} = \frac{B_1}{N} \qquad (5.59)$$

$$a_2 = \frac{(\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta x_i) - (\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)\Delta(x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{A_2}{N}$$

$$b_2 = \frac{(\Delta x_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta y_i \cdot \Delta y_i) - (\Delta y_i \cdot \Delta \bar{Y}_i)(\Delta x_i \cdot \Delta y_i)}{N} = \frac{B_2}{N}$$

$$C_1 = X_S - a_1X_S + b_1Y_S$$
$$C_2 = Y_S - a_2Y_S - b_2Y_S \qquad (5.60)$$

5.8. LUCRĂRI DE TEREN ÎN FOTOGRAMMETRIA TERESTRĂ

În vederea stabilirii elementelor de orientare exterioară a fotogramelor este necesară întocmirea unui proiect de fotografiere care constă în următoarele operaţii:

- delimitarea zonei sau a obiectului de fotografiat

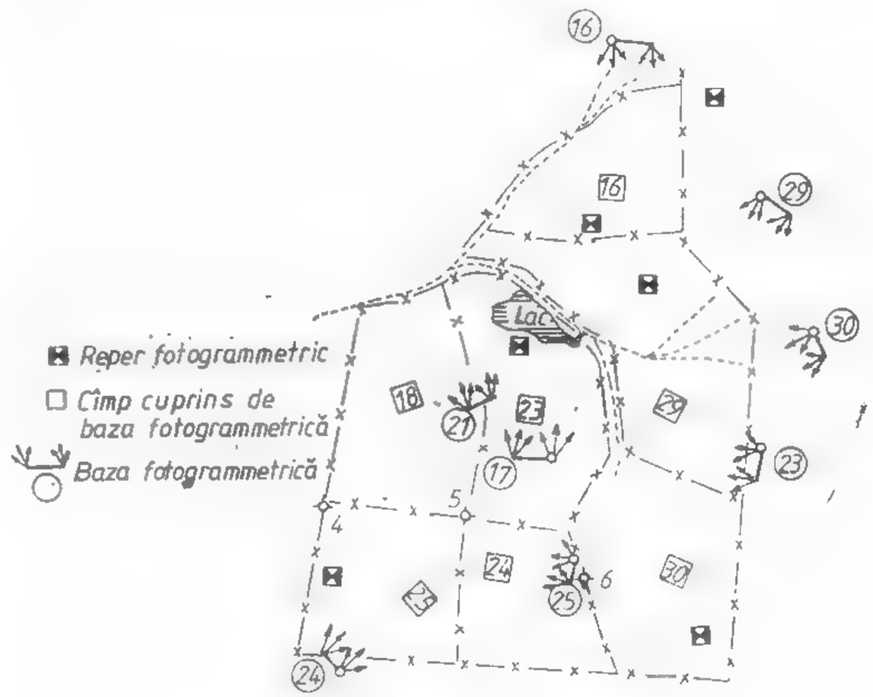


Fig. XV.110. Proiect de fotografiere.

- alegerea aparaturii de fotografiere şi a metodei de lucru
- stabilirea punctelor de staţie şi a bazelor de fotografiere
- stabilirea punctelor de reper şi amplasarea lor
- legarea punctelor de capăt ale staţiei şi ale punctelor de reper din reţeaua geodezică existentă, în vederea orientării exterioare a fotogramelor (fig. XV.110).

După efectuarea acestor operaţii proiectul se definitivează prin recunoaşterea terenului şi se poate trece la fotografierea propriu-zisă. Zona sau obiectul de fotografiat se delimitează fie pe planuri şi hărţi, dacă acestea există iniţial, sau prin recunoaşterea lor în teren. Scopul acestei operaţii este de a stabili dimensiunea cîmpului de fotografiere (funcţie de care se alege camera de fotografiat), amplasarea bazelor de fotografiere în vederea racordării fotogramelor, amplasarea reperajului şi în final soluţia de fotografiere.

În alegerea metodei de lucru, a aparaturii de preluare și prelucrare a fotogramelor, în stabilirea și determinarea bazelor de fotografiere se pleacă de la precizia necesară pentru reprezentarea obiectului.

5.8.1. STABILIREA PUNCTELOR DE STAȚIE ȘI A BAZELOR FOTOGRAMMETRICE

Punctele de stație din care se efectuează fotografierea, consitituind prin coordonatele lor elemente de orientare exterioară ,vor trebui să fie puncte stabile și bine determinate. Odată cu stabilirea punctelor de bază trebuie stabilite bazele de fotografiere. Alegerea locului de amplasare a bazei este condiționată de satisfacerea urmatoarelor condiții.

se va ține seama ca din bază să se permită fotografierea unor porțiuni cît mai mari și fără zone ascunse;

— baza de fotografiere să fie amplasată paralel cu direcția principală a obiectului, pentru a se evita deformațiile de convergență;

— depărtarea bazei de fotografiere față de obiect se alege în funcție de scara de redactare, de materialul fotosensibil utilizat și de condițiile de vizibilitate.

— lungimea bazei se alege în raport cu depărtarea maximă și minimă față de obiectul măsurat, încît să se obțină o precizie necesară măsurătorii.

Ținînd seama de relațiile:

$$Y = \frac{bf}{p} \quad \text{și} \quad \frac{dY}{Y} = -\frac{Y}{b} \cdot \frac{dp}{f}$$

și de faptul că aparatele de restituție au o eroare de determinare a paralaxei de 0,01 mm, cu un aparat de preluare cu $f = 200$, pentru a obține o eroare în determinarea lui Y de 1: 1 000 va rezulta:

$$\frac{b_{min}}{Y_{max}} = -\frac{Y}{dY} \cdot \frac{dp}{f} = 1\,000 \cdot \frac{0{,}01}{200} = -\frac{1}{20}$$

sau

$$b_{min} \geqslant \frac{1}{20} Y_{max}$$

Pentru o paralaxă stereoscopică de 40—50 mm ce se realizează prin fotografiere cu fototeodolitul Photeo 19/1318

$$b_{max} = \frac{50}{200} Y = \frac{1}{4} \div \frac{1}{5} Y$$

Deci pentru un fototeodolit cu $f = 200$ mm baza de fotografiere trebuie cuprinsă

$$\frac{Y_{max}}{20} \leqslant b \leqslant \frac{Y_{min}}{4} \qquad (5.61)$$

La stabilirea lungimii bazei, în afară de valoarea paralaxei și a preciziei de determinare, trebuie să se mai țină seama și de scara de redactare. Amplasarea bazelor se face în așa fel încît cîmpul de fotografiere să acopere zona de măsurat, ca să nu rămînă goluri în măsurători. Atunci cînd pentru preluarea unui obiect este nevoie de mai multe baze, este indicat a se amplasa baze legate între ele (fig. XV.111).

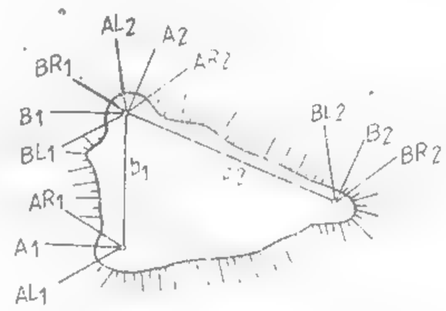


Fig. XV.111. Amplasarea bazelor fotogrammetrice legate.

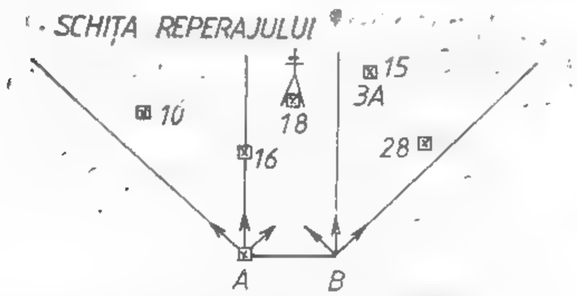
Trebuie avută în vedere, la amplasare, atît condiția de vizibilitate din punctele de stație cît re zona de fotografiat, cît și vizibilitatea reciprocă între punctele de stație. La stabilirea punctelor de capăt ale bazei trebuie să se țină seama ca diferența de nivel dintre ele să fie $\Delta h \leqslant \frac{1}{5} b$. Lungimea bazei se măsoară direct cu ruleta cînd este mai mică de 50 m, sau cu mira de invar. Măsurarea se efectuează de 3—6 ori, pentru a se asigura o precizie în măsurare de 1/10 000—1/20 000.

În funcție de dispunerea obiectului de fotografiat, de depărtarea lui față de bază, se vor stabili camera de fotografiat (fototeodolitul sau camere stereometrice) și metode de lucru (stereofotogrammetria sau intersecția). La alegerea tipului de aparat se va ține seama de caracteristicile tehnice ale acestora (tabelele XV.10 și XV.11).

5.8.2. REPERAJUL FOTOGRAMMETRIC

Atît controlul elementelor de orientare exterioară și a preciziei de determinare cît și legarea sistemului de coordonate fotogrammetrice cu sistemul de referință geodezic se face prin punctele de reper. Dispunerea punctelor de reper se face conform proiectului și a posibilității de legare a acestor puncte de punctele geodezice existente. Practic pentru fiecare bază de fotografiere sînt necesare 4 puncte de reper dispuse pe întreg cîmpul de fotografiere. Cel puțin un punct trebuie să fie comun atît preluărilor normale cît și celor deviate stînga și dreapta. De asemenea, este nevoie ca să existe repere comune bazelor vecine, pentru a se putea realiza racordarea stereogramelor (fig. XV.112).

Reperele fotogrammetrice se materializează în funcție de durabilitatea lucrărilor, prin țăruși de lemn sau oțel, iar semnalizarea lor se face cu panouri vopsite bicolor (albastru marin și galben citron). Forma și dimensiunile panourilor depind de forma și depărtarea obiectului de stație (fig. XV.113).



BAZA 12

	AL	A	AR	BL	B	BR
Orizont de fotografiere	-15	-15	-15	-15	-15	-15
Orientarea axelor de foto	65/265	100/300	135/335	265/65	300/100	335/135
Timp de expunere	20^s	20^s	20^s	20^s	20^s	20^s
Caseta	2	1	3	5	4	6
Inc. time aparat						

Fig. XV.112. Amplasarea reperelor fotogrammetrice faţă de baza de fotografiere.

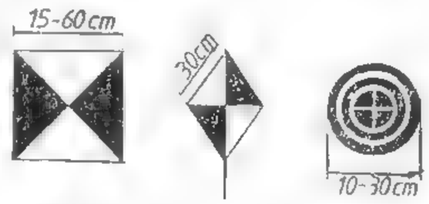


Fig. XV.113. Tipuri de repere fotogrammetrice.

5.8.3. LEGAREA PUNCTELOR DE CAPĂT ALE BAZEI FOTOGRAMMETRICE ŞI A PUNCTELOR DE CONTROL LA REŢEAUA GEODEZICĂ

Determinarea coordonatelor spaţiale ale punctelor de reper se face prin metode geodezo-topografice cunoscute, în funcţie de configuraţia terenului, a numărului şi dispunerii acestor puncte. Printre metodele mai des utilizate sînt intersecţiile în cazul punctelor dispărute şi a poligonaţiilor (drumuirii) în cazul cînd punctele sînt amplasate în apropiere unul faţă de celălalt.

Pentru determinarea cotelor punctelor de staţie şi de reper se foloseşte nivelmentul geometric. La determinarea coordonatelor geodezice ale reperelor şi a punctelor de control trebuie să se ţină seama de precizia cerută, de scopul pentru care se execută lucrările de reperaj. În consecinţă, metoda de determinare trebuie aleasă în funcţie de această precizie.

După ce aceste operaţii au fost efectuate, se trece la executarea fotografierilor. Fotografierea este operaţia de mare răspundere care contribuie la calitatea întregu lucrări de măsurare. Orice greşală sau neglijenţă este o sursă de erori şi conduce la refacerea fotografierii. De aceea, în efectuarea fotografierii trebuie să se ţină seama de următoarele condiţii:

— fotografierea să se efectueze în momentul celei mai bune iluminări a obiectului;

— timpul de expunere să fie corect stabilit, avînd în vedere sensibilitatea emulsiei fotosensibile 1—5 DIN;

— menţinerea pe tot timpul fotografierii a axei de fotografiere riguros orizontală şi perpendiculară pe planul imagine (verificarea miretelor);

- menţinerea orientării axelor de fotografiere.

În cazul executării din două puncte de staţie ale bazei de fotografiere, se va ţine seama ca fotografierea să se facă în aceleasi condiţii de iluminare. Datele necesare exploatării fotogramelor se vor trece într-un tabel de date (fig. XV.112).

5.9. REZOLVAREA UNOR PROBLEME TOPOGRAFICE PRIN METODE FOTOGRAMMETRICE

5.9.1. MĂSURAREA VOLUMELOR EXCAVATE ÎN CARIERE

Utilizarea metodelor fotogrammetrice în determinarea volumelor excavate în cariere este motivată de avantajele pe care le oferă această metodă comparativ cu cele clasice.

fidelitatea planului de situaţie al carierei şi al profilelor excavate;
randamentul ridicat al măsurătorilor.

Distingem următoarele procedee de determinare a volumelor excavate

procedeul reţelelor orizontale;
procedeul reţelelor verticale;
procedeul secţiunilor orizontale;
procedeul secţiunilor verticale.

Alegerea procedeului este în funcţie de zona de amplasare a carierei, de înălţimea treptei, de situaţia reliefului din jur. Oricare ar fi procedeul ales pentru culegerea informaţiilor, este necesar a se stabili o staţie de măsurare. Staţia de măsurare constă în stabilirea pe teren a bazelor de fotografiere, a punctelor de control ,fixe şi mobile necesare orientării absolute. Se recomandă stabilirea unui număr minim de baze. Poziţia lor să fie stabilă şi fixă pe tot timpul măsurătorilor. Pentru ca restituţia să se efectueze simplu, se indică ca bazele să fie paralele cu frontul de lucru.

Atît punctele de capăt ale bazelor cît şi punctele de reper se determină prin metode topografice în sistemul de referinţă al carierei sau într-un sistem de referinţă ales. Pentru determinarea periodică a volumelor se efectuează înregistrarea fotografică asupra zonelor excavate, cu ajutorul fototeodolitelor, în diferite perioade. Reperele fixe se semnalizează la fiecare înregistrare, preluarea efectuîndu-se din aceleaşi puncte de staţie.

Ca metode de prelucrare a înregistrărilor se foloseşte stereorestituţia analogică sau numerică. Pe baza stereofotogramelor, cu ajutorul aparatului de restituţie se obţine planul de situaţie al carierei la scara convenabilă, care conţine treptele carierei, cotele de nivel ale fiecărei trepte, drumurile de acces.

Procedeul reţelelor orizontale constă în elaborarea modelului numeric al terenului şi al zonei excavate (fig. XV.114).

Volumul excavat se calculează cu relaţia

$$V = S \sum_{n=1}^{n} h_i \qquad (5.62)$$

în care S este suprafaţa totală a zonei excavate; h_i — cota medie a punctelor reţelei.

Această suprafaţă se determină prin metode topografice cunoscute pe planul de situaţie al terenului.

Volumul excavat într-un interval de timp este dat de diferenţa de volum dintre două determinări succesive

$$\Delta V = V_{t_1} - V_{t_2}$$

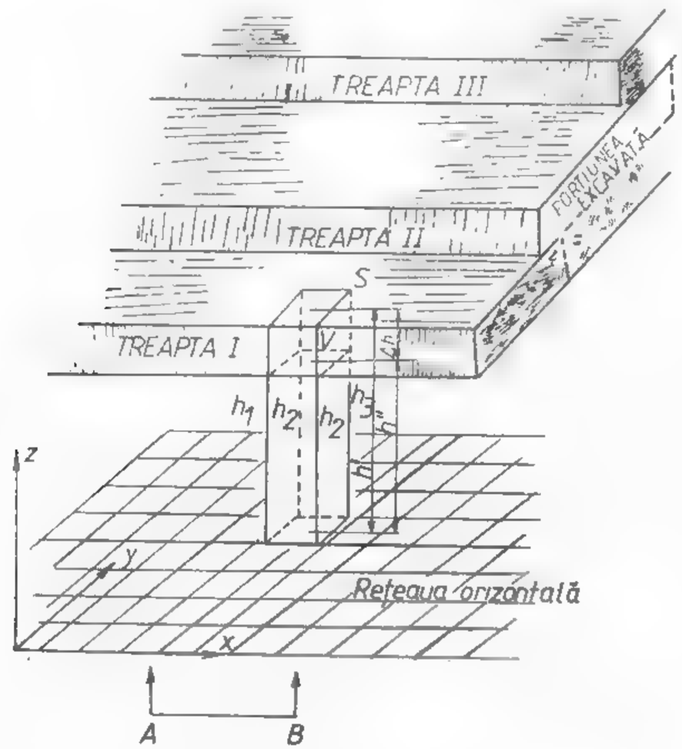


Fig. XV.114. Principiul reţelei orizontale.

Cu planul de situaţie orientat pe masa coordonatografului prin punctele de reper şi cu masa de desen cuplată la aparatul de restituţie pentru proiecţia xy, se punctează nodurile, iar pe modelul stereoscopic se citeşte la tambur cota z a punctelor respective.

Procedeul reţelelor verticale. Este asemănător procedeului anterior. Reţeaua verticală se obţine prin împărţirea planului vertical XZ în reţea de pătrate. Acest plan trebuie să fie paralel cu baza de fotografiere. Elementul variabil este depărtarea Y, care se va citi la aparatul de restituţie (fig. XV.115).

$$V = S \sum_{n=1}^{n} y_i \qquad (5.63)$$

Volumul excavat într-un interval de timp va fi dat de diferenţa volumelor obţinute la două momente de măsurare. Cele două procedee au o serie de dezavantaje în organizarea lucrărilor şi nu au o maximă operativitate în lucru.

Procedeul secţiunilor orizontale. Constă în secţionarea corpului cu plane de secţionare orizontale echidistante (fig. XV.116).

Între aceste două secţiuni se formează cîte un corp fictiv elementar. Urmele acestui corp inclus pe secţiunile plane care îl delimitează sînt poligoane închise a căror arie se poate calcula analitic sau grafic.

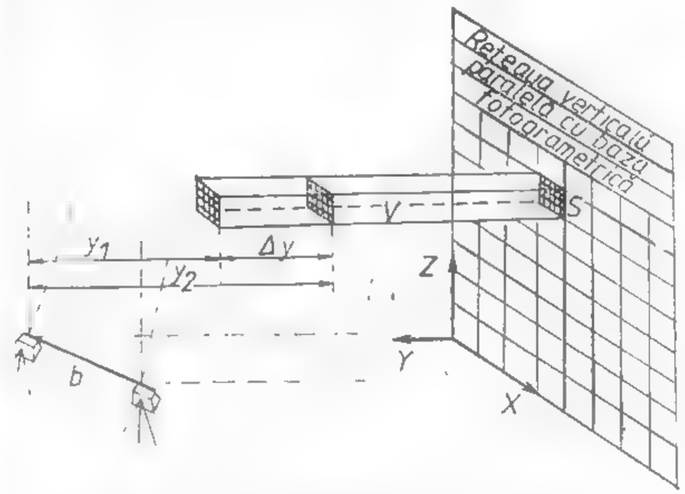


Fig. XV.115. Principiul reţelei verticale.

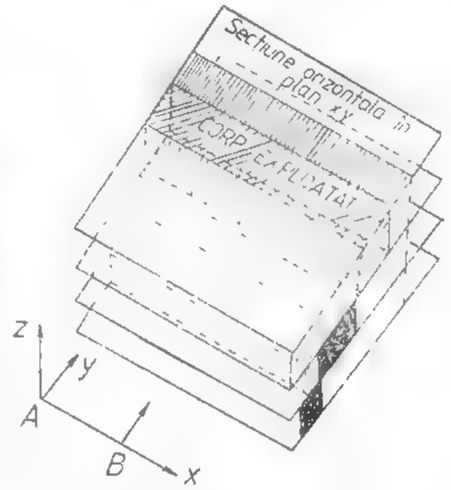


Fig. XV.116. Principiul secţiunilor orizontale.

Volumul excavat delimitat de două secţiuni se calculează cu una din relaţiile

$$V_t = \frac{S_1 + S_2}{2} \, d \qquad (5.64\ a)$$

sau

$$V_t = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} \cdot d \qquad (5.64\ b)$$

în care: $S_1 S_2$ sînt ariile secţiunilor; d este echidistanţa între secţiuni.

Relaţia (5.64 a) se foloseşte cînd S_1 şi S_2 au valori apropiate, iar relaţia (5.64 b) cînd ariile secţiunilor sînt diferite.

Pentru operativitate în calcul se alege un sistem de coordonate particular, cu axa X perpendiculară cu frontul de lucru, iar axa Y pe direcţia de înaintare. În acest caz volumul total va fi

$$V_t = \Delta Z \, \frac{[S_1 + S_2 + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})]}{2} \qquad (5.65\ a)$$

sau

$$V_t = \frac{\Delta Z}{3} [(S_1 + S_n + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})] + \sqrt{S_1 S_2} + \ldots + \sqrt{S_{n-1} S_n} \qquad (5.65\ b)$$

Din relaţiile de mai sus se constată că ΔZ este constant, iar ariile suprafeţelor sînt variabile. Calculul suprafeţelor reprezintă operaţia cea mai laborioasă şi mai pretenţioasă, de aceea trebuie să i se acorde toată atenţia.

Pentru calculul ariilor fiecărei secţiuni se recomandă folosirea relaţiei:

$$2S = X_{ij}(Y_{ij+1} - Y_{ij-1}) \tag{5.66}$$

care poate fi programată pentru calcul automatizat, sau poate fi determinată prin metode grafice.

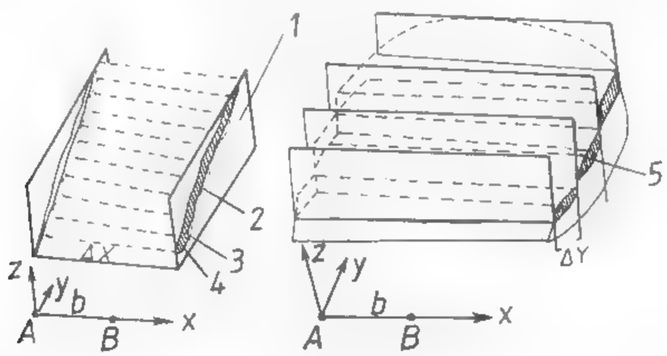


Fig. XV.117. Principiul secţiunilor verticale:
1 — secţiune verticală în planul YZ; 2 — treaptă proiectată; 3 — situaţia excavaţiei; 4 — teren; 5 — corp exploatat.

Metoda secţiunilor orizontale se aplică în cazul exploatării cu trepte uniforme desfăşurate pe lungime. ΔZ poate fi considerat tocmai înălţimea treptei de exploatare.

Procedeul secţiunilor verticale. Aceste secţiuni pot fi perpendiculare pe frontul de lucru (fig. XV.117) şi paralele cu frontul de lucru. Procedeul de măsurare şi calcul este asemănător cu metoda mai sus amintită, că elementele constantei vor fi ΔX pentru planele de secţionare perpendiculare pe front sau ΔY pentru planele paralele la front.

$$V_t = \Delta X \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})]}{2} \tag{5.67}$$

$$V_t = \Delta Y \frac{[S_1 + S_n + 2(S_2 + \ldots + S_{n-1})]}{2} \tag{5.68}$$

Procedeul secţiunilor are avantajul că permite calculul volumelor separat pe trepte. Ariile şi respectiv volumele se pot determina pentru fiecare material în parte, pe util şi steril. Volumul excavat se însumează apoi defalcat pe trepte şi materiale, după care se însumează obţinîndu-se volumul total.

5.9.2. MĂSURAREA DEPOZITELOR DE STERIL

Măsurarea haldelor de steril constă în urmărirea stabilităţii acestora, a taluzelor şi în determinarea cantităţii depozitate. Pentru aceasta, pe baza înregistrărilor fotografice periodice se redactează şi completează periodic planul topografic la scara 1: 1 000. Pentru realizarea fotogramelor se stabileşte o bază de observaţie din bazé de prelucrare şi puncte de reper ce trebuie să îndeplinească condiţiile stabilite în § 5.8.1 (fig. XV.118).

Urmărirea stabilităţii haldei constă în măsurarea unghiurilor de taluz deformate şi a influenţei haldei asupra terenului înconjurat. Volumul de steril depozitat se stabileşte prin metoda reţelei orizontale sau a secţiunilor (§ 5.9.1).

Măsurarea iazurilor de decantare are ca scop determinarea înălţimii acestora, deplasărilor pe orizontală a digurilor iazului şi a volumului decantat. În acest sens, din puncte de staţie stabile şi determinate se efectuează fotograme, prin prelucrarea, cărora se obţine planul de situaţie al iazului de decantare la scara convenabilă 1: 1 000 (fig. XV.119). Volumul depozitat se determină printr-unul din procedeele cunoscute de calcul a volumelor.

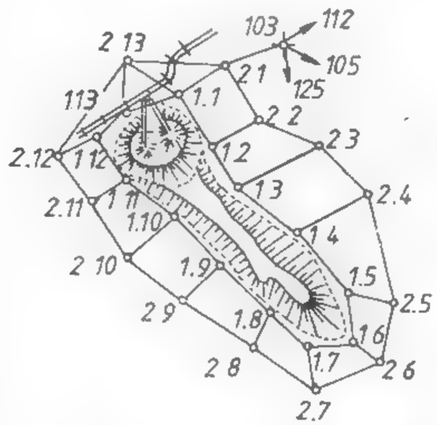


Fig. XV.118. Staţia de urmărire a depozitelor de steril.

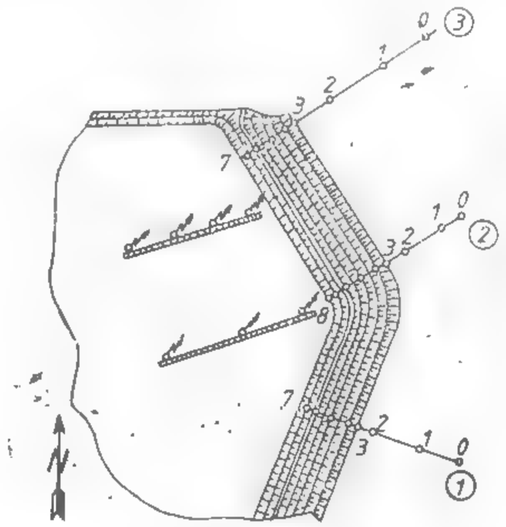


Fig. XV.119. Staţia de urmărire a iazurilor de decantare.

Urmărirea periodică a deplasărilor se face prin staţii special amenajate, care constau din repere amplasate pe aliniamente, pe digul iazului şi continuate pînă în afară, în teren stabil. Determinarea punctelor de staţie şi a punctelor de reper se determină prin metode topografice. Bazele de fotografiere trebuie amplasate perpendicular pe aliniament. Pentru reducerea numărului de puncte determinate topografic, un capăt al bazei poate fi considerat reper fix al aliniamentului.

Constatarea deplasării digurilor de decantare se face prin compararea cotelor punctelor reper la fiecare determinare și a distanțelor dintre punctele reper. Reprezentarea acestor deplasări se realizează în planul YZ pentru cote și în plan XY pentru deplasări orizontale.

5.9.3. MĂSURAREA ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Scopul măsurării albiilor de scufundare este studierea deplasării rocilor ca urmare a exploatării subterane. Datorită aspectului pe care îl prezintă uneori albiile de scufundare — cu pante mari neuniforme, cu pereți abrupți, crăpături, adîncituri, urmărirea acestora se poate face numai prin metoda fotogrammetrică (fig. XV.120).

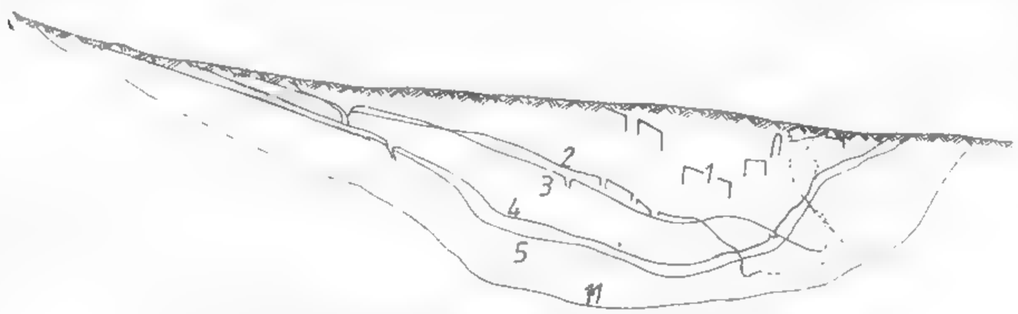


Fig. XV.120. Secțiune printr-o albie de scufundare.

Pentru urmărirea albiei de scufundare este necesar a se fixa o stație de observație care constă în stabilirea și amplasarea bazelor fotogrammetrice în puncte fixe dispuse în afara zonei de influență și puncte de reper amplasate atît în zona de influență cît și în locuri stabile. Punctele stației de observație se determină atît din punct de vedere planimetric cît și altimetric, prin metode ale topografiei clasice, ele folosind la orientarea exterioară a prelucrării fotogramelor. Prin prelucrarea fotogramelor se obțin, pe cale fotogrammetrică, la un aparat de restituție:

— planul de situație al albiei de scufundare la o scară convenabilă;
— secțiuni direcționale și transversale prin albia de scufundare.

Evoluția în timp a albiei de scufundare este determinată prin urmărirea periodică a acesteia. Înregistrările fotografice se efectuează din aceleași puncte de stație, iar punctele de reper fixe se mențin aceleași pe toată durata măsurătorilor.

5.9.4. MĂSURĂTORI ÎN SUBTERAN

Folosirea fotogrammetriei în subteran este relativ nouă, fiind utilizată ca procedeu pentru măsurători în cazuri speciale. Din cauza unor dificultăți în iluminarea obiectelor de fotografiat, a spațiilor restrînse și a vizibilității reduse, pînă în prezent nu s-a dezvoltat pe măsura posibilității ei de aplicare.

Dezvoltarea sistemelor de înregistrare a imaginilor termice folosind pelicule sensibile în infraroșu, ce pot fotografia în întuneric, va contribui la utilizarea fotogrammetriei în subteran. De asemenea, introducerea calculatoarelor în preluarea analitică și automată a fotogramelor va dezvolta aplicarea fotogrammetriei în rezolvarea diverselor probleme subterane. În subteran, metodele fotogrammetrice sînt posibile de aplicat ținînd seama de următoarele precauții:

— datorită distanței mici între obiect și obiectiv, preluarea se face cu fototeodolite universale, cu camere stereometrice cu baza mică sau cu aparate obișnuite etalonate. Fotografierea se face și dintr-un singur punct de stație, cu axa de fotografiere orizontală și perpendiculară pe planul obiectului (planul lucrării miniere) sau două puncte de stație, numai în cazul normal al stereofotogrammetriei. Dintre aplicațiile cu rezultate mai spectaculoase reținem

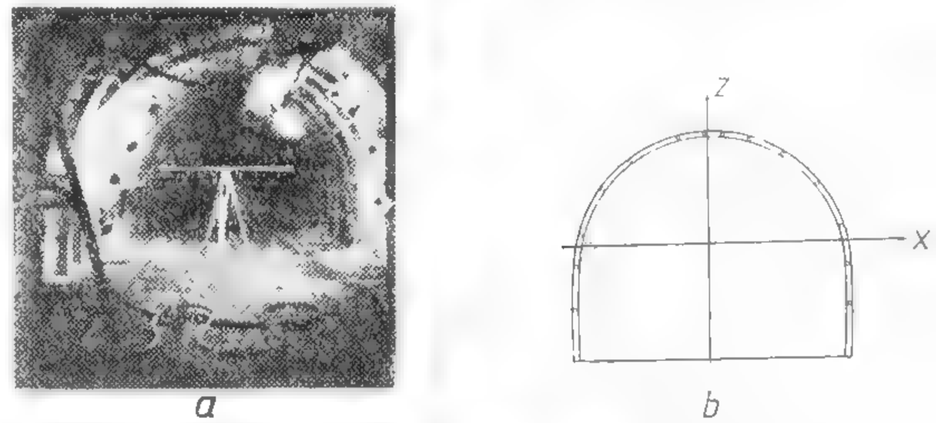


Fig. XV.121. Secțiunea transversală a unei galerii.

măsurarea deformațiilor lucrărilor miniere datorită presiunii rocilor înconjurătoare,

determinarea secțiunilor transversale ale galeriilor (fig. XV.121).

Măsurarea deformațiilor lucrărilor miniere constă în urmărirea în timp a evoluției fisurilor ce apar pe pereții lucrărilor miniere, ca urmare a presiunii rocilor înconjurătoare. Pentru aceasta este nevoie de amplasarea unor repere martori pe pereții lucrării miniere.

Avînd în vedere că depărtarea Y se menține oarecum constantă, este de preferat fotografierea dintr-un singur punct de stație. Dacă la urmărirea în timp a fisurilor se utilizează metoda măsurării paralaxelor cu baza de timp, precizia de determinare crește simțitor, deoarece se reduc măsurătorile de coordonate fotogrammetrice, rămînînd doar ercarea de măsurare a paralaxei. Restituția se face analogic sau grafic, pe planul XZ determinîndu-se deschiderea fisurii, lungimea și poziția ei.

XVI. MECANICA ROCILOR

Conf. dr. ing. CORNEL HIRIAN
Conf. dr. ing. GHEORGHE ONCIOIU
Şef lucrări dr. ing. ADRIAN TODORESCU

1. BAZELE TEORETICE ALE MECANICII ROCILOR

1.1. DEFINIȚII ȘI CONCEPTE DE BAZĂ

Un masiv de rocă este supus acțiuni a două tipuri de forțe: 1) *exterioare* și 2) *interioare*. Acțiunea forțelor exterioare asupra masivului sau orice modificare naturală, respectiv artificială, realizată în structura acestuia, care atrage după sine modificarea forțelor interioare, a pozițiilor și distanțelor dintre diferitele puncte ale lui, are drept rezultat crearea unei stări de *tensiune-deformare*. A determina o asemenea stare înseamnă a evalua în fiecare punct al masivului creșterea valorică a forțelor interioare și a deplasărilor punctelor în spațiu. Raportarea forțelor interioare la unitatea de suprafață constituie noțiunea de *tensiune*, adică

$$p = \sigma_n = \frac{dF_i}{dA} \tag{1.1}$$

iar raportarea deplasărilor la unitatea de lungime constituie noțiunea de *deformație*:

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dl} \tag{1.2}$$

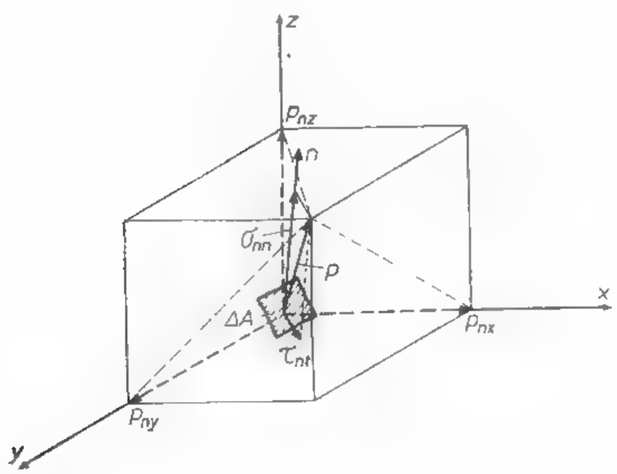


Fig. XVI.1. Definirea noțiunii de tensiune și componentele normală și de forfecare.

unde: δ — poate fi: u; v sau w. Unitatea de măsură, conform analizei dimensionale $L^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$ în SI a tensiunii este N/m^2 sau Pa, iar deformația este adimensională. Tensiunea p are două componente (fig. XVI.1) reciproc perpendiculare, una normală

σ_{nn} ce acționează după direcția normalei n și una tangențială τ_{nt} situată în planul de secționare. Trei suprafețe reciproc perpendiculare caracterizează un volum elementar și ca urmare starea de tensiune respectiv de deformare a acestuia (fig. XVI.2), sau

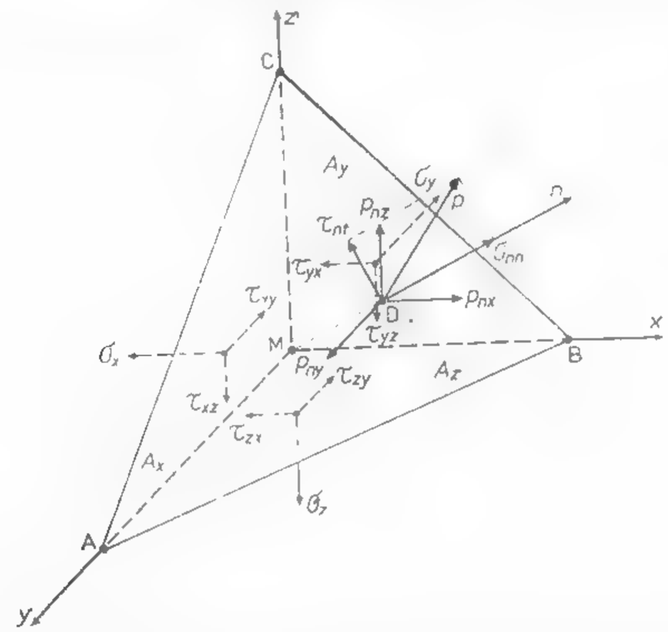


Fig. XVI.2. Starea de tensiune într-un punct.

în unui punct M, poate fi determinată de 9 componente ale tensiunilor ori a deformațiilor, care conform principiului dualității se reduc la 6. Analiza stării de tensiune sau de deformare poate fi făcută fie pe cale analitică, fie pe cale grafică.

1.1.1. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE ANALITICĂ

Totalitatea tensiunilor normale și tangențiale ce corespund secțiunilor duse prin punctul M (fig. XVI.2) caracterizează starea de tensiune din jurul acestui punct. Analitic ea este definită pe deplin dacă se cunoaște tensorul tensiunii $|T_\sigma|$. Ansamblul componentelor stării de tensiune într-un punct, redate matricial, formează un tensor de ordinul II simetric — *tensorul total al stării de tensiune* — $|T_\sigma|$ a cărui expresie este redată în tabelul XVI.1. Dacă $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ este starea de tensiune din M, atunci pe orice suprafață va acționa numai o tensiune normală σ_0, iar $\sigma_{ijk} = 0$. Tensorul corespunzător acestui caz se numește *tensor sferic* al tensiunii $|T_{\sigma_0}|$ (tabelul XVI.1) și corespunde sării prin care se poate realiza schimbarea volumului fără modificarea formei. Starea de tensiune prin care se poate schimba forma, exprimată matricial, se numește *deviatorul stării de tensiune*: $|D_\sigma| = |T_\sigma| - |T_{\sigma_0}|$. Deci o stare de tensiune este definită de o expresie de forma:

$$|T_\sigma| = |T_{\sigma_0}| + |D_\sigma| \tag{1.3}$$

Tabelul XVI. 1

Expresiile tensorilor de tensiune și de deformare

Tensorul total al stării de tensiune

$$T_\sigma = T_{\sigma 0} + D_\sigma$$

Cazul eforturilor oarecare

$$\begin{matrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{matrix} = \begin{matrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{matrix} + \begin{matrix} \sigma_x - \sigma_m & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y - \sigma_m & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z - \sigma_m \end{matrix}$$

Cazul eforturilor principale

$$\begin{matrix} \sigma_{11} & \tau_{21} & \tau_{31} \\ \tau_{12} & \sigma_{22} & \tau_{32} \\ \tau_{13} & \tau_{23} & \sigma_{33} \end{matrix} = \begin{matrix} \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_0 \end{matrix} + \begin{matrix} \sigma_1 - \sigma_0 & \tau_{21} & \tau_{31} \\ \tau_{12} & \sigma_1 & \tau_{32} \\ \tau_{13} & \tau_{23} & \sigma_1 - \sigma_0 \end{matrix}$$

unde:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

Tensorul total al stării de deformare

$$T_\varepsilon = T_{\varepsilon 0} + D_\varepsilon$$

Cazul deformațiilor oarecare

$$\begin{matrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \frac{1}{2}\gamma_{zx} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{zy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & \varepsilon_z \end{matrix} = \begin{matrix} \varepsilon_m & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_m & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_m \end{matrix} + \begin{matrix} \varepsilon_x - \varepsilon_m & \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \frac{1}{2}\gamma_{zx} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y - \varepsilon_m & \frac{1}{2}\gamma_{zy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & \varepsilon_z - \varepsilon_m \end{matrix}$$

Cazul deformațiilor principale

$$\begin{matrix} \varepsilon_{11} & \frac{1}{2}\gamma_{21} & \frac{1}{2}\gamma_{31} \\ \frac{1}{2}\gamma_{12} & \varepsilon_{22} & \frac{1}{2}\gamma_{32} \\ \frac{1}{2}\gamma_{13} & \frac{1}{2}\gamma_{23} & \varepsilon_{33} \end{matrix} = \begin{matrix} \varepsilon_0 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_0 \end{matrix} + \begin{matrix} \varepsilon_1 - \varepsilon_0 & \frac{1}{2}\gamma_{21} & \frac{1}{2}\gamma_{31} \\ \frac{1}{2}\gamma_{12} & \varepsilon_2 & \frac{1}{2}\gamma_{32} \\ \frac{1}{2}\gamma_{13} & \frac{1}{2}\gamma_{23} & \varepsilon_3 - \varepsilon_0 \end{matrix}$$

unde:

$$\varepsilon_m = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$$

...ne tata în tabelul XVI.1. În funcție de modelul mediului continuu (dens), pentru determinarea stării de tensiune-deformare a unui masiv de rocă există un sistem format din 9 ecuații (în coordonate carteziene sau polare) (tabelul XVI.2), independente (ecua-

Tabelul XVI.2

Sistemul de ecuații pentru determinarea stării de tensiune-deformare

Ecuațiile de echilibru	
Dinamic	Static
$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = \gamma_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \gamma_a X = 0$
$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = \gamma_a \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \gamma_a Y = 0$
$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = \gamma_a \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$	$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \gamma_a Z = 0$
$\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$, $\tau_{zx} = \tau_{xz}$	

Ecuațiile de compatibilitate	
Prima grupă	A doua grupă
$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2}$	$2\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z}\left[-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y}\right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2}$	$2\frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x}\left[-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z}\right]$
$\frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x} = \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2}$	$2\frac{\partial \varepsilon_z}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y}\left[-\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y}\right]$

ațiile lui *Cauchy*, ecuațiile de echilibru, ecuațiile de continuitate sau condițiile lui *Saint-Venant*) cu 15 necunoscute: σ_x; σ_y, σ_z; τ_{xy}, τ_{yz}; τ_{zx}; ε_x; ε_y; ε_z; γ_{xy}; γ_{yz}; γ_{zx}; u; v; w, a lică static nedeterminat. Rezolvarea nedeterminării se realizează prin introducerea ecuațiilor fizice de stare, caracteristice fiecărui model considerat. Asemenea ecuații unesc, prin corelații bine definite, tensiunile și deformațiile numindu-se *legi fizice constitutive*. În funcție de tipul legăturii σ-ε se deosebesc următoarele stări de bază tensiune-deformare: elastică, plastică, vîscoasă și combinații ale acestora

1.1.2. ANALIZA STĂRII DE TENSIUNE SAU DE DEFORMARE PE CALE GRAFICĂ

Un asemenea deziderat se poate realiza prin intermediul cercurilor lui *Mohr*, a căror ecuații sînt de forma : $y^2 + (x - x_0)^2 = r^2$, adică :

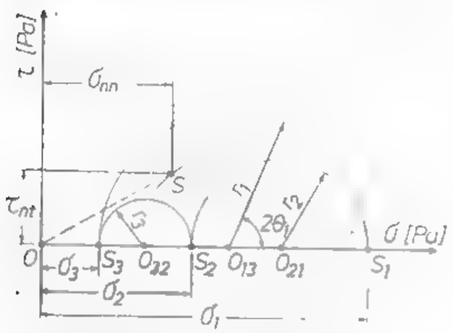


Fig. XVI.3. Cercul lui Mohr.

$$\tau_{nt}^2 + \left(\sigma_{nn} - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}\right)^2$$

$$\tau_{nt}^2 + \left(\sigma_{nn} - \frac{\sigma_3 + \sigma_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}\right)^2$$

$$\tau_{nt}^2 + \left(\sigma_{nn} - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2 \qquad (1.4)$$

cu centrele pe axa σ, la distanțele OO_1 ; OO_2 ; OO_3 și razele r_1 ; r_2 ; r_3 (fig. XVI.3). Deci locul geometric al punctelor S_i ce reprezintă stări de eforturi obținute prin variația continuă a unghiului θ este un cerc denumit *cercul lui Mohr* și a cărui ecuație se stabilește funcție de starea de tensiune în care ne situăm : triaxială, plană, liniară. Cercul lui *Mohr* este o tehnică de calcul și nu o reprezentare fizică a unei stări de tensiune sau de deformare.

1.2. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII ELASTICE

Mediile elastice se caracterizează prin cel mai simplu tip de corelație $\sigma - \varepsilon$ și anume *legătura elastică* sau *modelul elastic* de comportare a masivului omogen și izotrop. Ecuația constitutivă în contextul precizat este legea generalizată a elasticității — *legea lui Hooke* — de forma :

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)\right] \qquad \gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)\right] \qquad \gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz} \qquad (1.5)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[(\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)\right] \qquad \gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx}$$

Din punct de vedere practic, de mare interes pentru activitatea minieră sînt cazurile particulare ale stării de tensiune-deformare spațiale și anume *starea plană și liniară*. Starea plană apare cînd $\sigma_z = 0$ și $\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$, adică tensorul de tensiune devine :

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{vmatrix} \qquad (1.6)$$

iar legea constitutivă redată matricial are forma $\{T_\sigma\} = [A]\{T_\varepsilon\}$ sau explicitată

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & \frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\mu)} \end{bmatrix} \qquad (1.7)$$

1.3. PLASTICITATEA. ELEMENTE DE TEORIA TENSIUNILOR ȘI A DEFORMAȚIILOR ÎN MEDII PLASTICE. CONDIȚII DE PLASTICITATE

Comportamentul plastic este proprietatea pe care o au corpurile solide de a suferi deformații permanente fără a-și pierde coeziunea după încetarea forțelor exterioare care le-au creat deformarea (fig. XVI.4). Din punct de vedere practic noțiunea de plasticitate se leagă de stadiul stării de tensiune. Se admite ca limită de plasticitate efortul corespunzător unor deformații $\varepsilon_r = 0.03$ [illegible]. Noțiunea de *plasticitate* permite stabilirea unor legi cu ajutorul cărora se pot realiza o serie de probleme în care au loc deformații complexe [illegible].

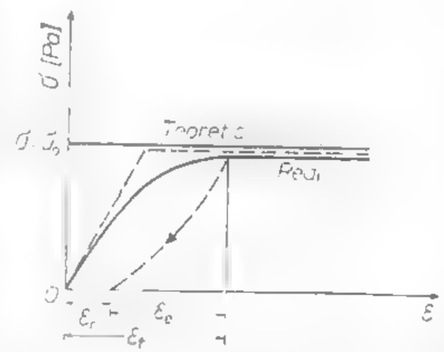


Fig. XVI.4. Comportament plastic.

Starea plastică a rocii care poate fi [illegible] imediat după starea elastică exprimată printr-o funcție de tensiune (f) este denumită *condiția de plasticitate*. Forma generală a acestei funcții este exprimată prin o serie de relații ca :

$$f(J_1 ; J_2 ; J_3) = 0 \text{ sau } f = \sigma - \psi(\alpha_k) \qquad (1.8)$$

În decursul timpului s-a ajuns la o îngustare a generalității și la apariția mai multor [illegible] sau condiții de plasticitate. Astăzi se utilizează următoarele forme ale funcției (f) [illegible] (1.8).

1) *Condiția de plasticitate Huber-Von Mises – Henky*, sub forma :

$$f = J_2 - \psi(\alpha_k) = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 - 2\sigma_e = 0 \qquad (1.9)$$

În cazul monoaxial, pentru o solicitare la tracțiune : cînd $\sigma_1 = \sigma_e$; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, condiția devine :

$$\frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_e = k \qquad (1.10)$$

iar pentru o solicitare la forfecare : cînd $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau_e$; $\sigma_2 = 0$, condiția devine $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \tau_e \qquad (1.11)$$

Această condiție descrie foarte bine comportamentul argilelor saturate și nedrenate.

2) *Condiția de plasticitate Saint-Venant – Tresca* exprimă funcția (*f*) sub forma

$$f = \sup|(\sigma_i - \sigma_j) - \psi(\alpha_k)| \qquad (1.12)$$

dacă :

$$\max|\tau_n|_{ij} = \frac{1}{2}(\sigma_i - \sigma_j) \qquad (1.13)$$

atunci relația (1.12) devine :

$$\{|\tau_n|\}_{max} = k \qquad (1.14)$$

adică roca trece în stare plastică atunci cînd tensiunea tangențială maximă atinge o anumită valoare critică independentă de felul stării de tensiune. Monoaxial, condiția devine : pentru tracțiune :

$$\frac{1}{2}\sigma_e = k$$

pentru forfecare $\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma_e$ sau $\tau_e = k$. Deci putem scrie că :

$$k = \frac{\sigma_e}{2} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \tau_e \qquad (1.15)$$

3. *Condiția de pasticitate a lui Mohr* presupune că *în cazul stării plastice a rocii diferența maximă dintre valoarea absolută a tensiunii tangențiale și o anumită funcție a tensiunea normală care acționează după aceeași suprafață este zero*, adică :

$$\max\{|\tau_n|\} - f\,|(\sigma_n)| = 0 \qquad (1.16)$$

sau :

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) - F_3\left[\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)\right] = 0 \qquad (1.17)$$

unde funcția F_3 depinde de σ_1, σ_3, φ, adică caracterizează proprietățile mecanice ale rocii. În plan se reprezintă sub forma unei curbe înfășurătoare (fig. XVI.5), ca și curbă limită. Condițiile considerate nu includ însă efectul tensiunii principale intermediare σ_2.

4) *Condiția de plasticitate a lui Druker-Prager* generalizează criteriul de plasticitate sub forma unei *legi de curgere* de tipul :

$$f = \alpha \cdot J_1 - \sqrt{J_2} - k = 0 \qquad (1.18)$$

sau

$$f = \alpha(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) + \left\{\frac{1}{6}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2\right\} - k = 0 \qquad (1.19)$$

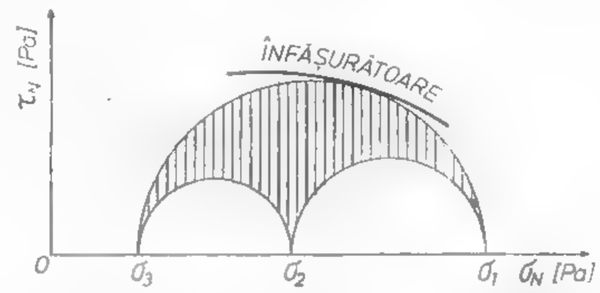


Fig. XVI.5. Curba înfășurătoare — curbă limită.

unde α și k sînt constante pozitive date de expresiile

$$\alpha = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{(9 + 12\operatorname{tg}^2\varphi)^{1/2}} \qquad k = \frac{3c}{(9 + 12\operatorname{tg}^2\varphi)^{1/2}} \qquad (1.20)$$

1.4. MECANISMUL DE REZISTENȚĂ ȘI FRACTURARE A ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE. IPOTEZE DE RUPERE

O dată cu creșterea solicitării $\sigma_i > \sigma_e$ în rocă se produc modificări irezersibile, comportamentul este neliniar-neelastic, iar starea de echilibru din interiorul masei de roci se modifică atît de mult încît apare pericolul de rupere, moment în care rezistența și stabilitatea acesteia începe să se diminueze din ce în ce mai mult, pînă sînt compromise. Pe o curbă caracteristică $\sigma - \varepsilon$, pragul de la care este posibilă apariția ruperii este definit fie de punctul (*d*) în cazul rocilor casante, fie de punctul (*c*) în cazul rocilor ductile (fig. XVI.6). Un asemenea prag poate fi denumit *limita de rupere* sau *de curgere*. O serie de ipoteze sub forma unor criterii încearcă evidențierea și stabilirea unui astfel de prag. Criteriul lui Coulomb sugerează că la ruperea prin forfecare a rocilor, efortului tangențial τ_n care tinde ca o rocă ruperea după un plan oarecare, i se opun coeziunea c și efortul normal σ_n multiplicat cu tangenta unghiului de frecare interioară : $\tau_n = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg}\varphi$. Considerînd

cazul solicitării triaxiale cilindrice : $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ (fig. XVI.7), și cu ajutorul *cercului lui Mohr* condiția de rupere devine :

$$\tau_N = r \cdot \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos \varphi \qquad (1.21)$$

$$\sigma_N = \overline{OO_1} - r \cos 2\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \varphi$$

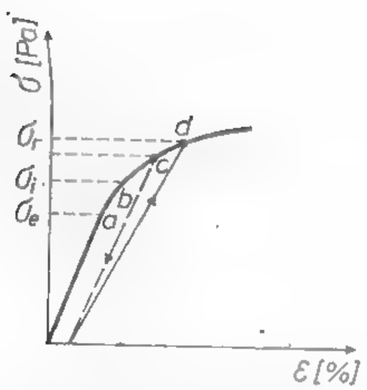


Fig. XVI.6. Curba caracteristică tensiune-deformare.

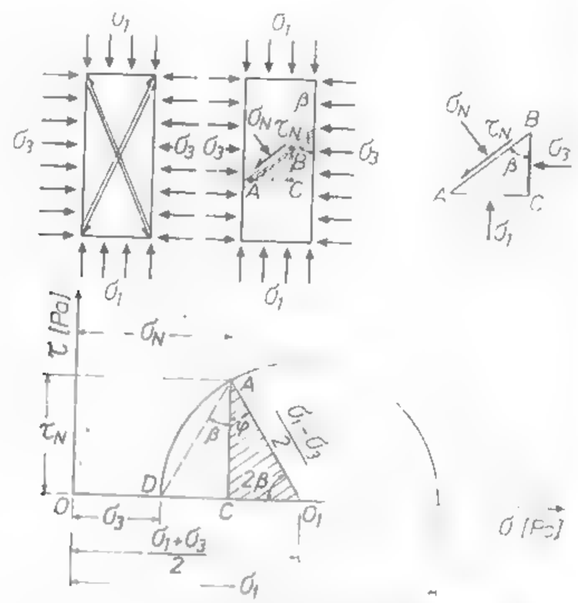


Fig. XVI.7. Cercul lui Mohr în solicitarea triaxial-cilindrică.

exprim care, înlocuite în relația inițială a lui *Coulomb* se obține relația :

$$\sigma_1 = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} + \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \sigma_3 \qquad (1.22)$$

sau :

$$\sigma_1 = Q + j\, \sigma_3 \qquad (1.23)$$

în care : Q este rezistența de rupere la compresiune monoaxială,

j coeficient funcție de valoarea unghiului de frecare interioară,

$$Q = \frac{2c \cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \qquad j = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{1}{\ldots} \qquad (1.24)$$

Criteriul de rupere devine

$$\sigma_1 \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) - \sigma_3 \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) = 2c \qquad (1.25)$$

și este o linie dreaptă MNT în planul eforturilor σ_1 ; σ_3, care taie axa σ_1 în punctul N, iar axa σ_3 în punctul M (fig. XVI.8).

$$\overline{ON} = 2c \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right); \qquad \overline{OM} = 2c \left(\frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) \qquad (1.26)$$

Dacă cantitatea ON este rezistența de rupere la compresiune, totuși cantitatea OM nu reprezintă rezistența de rupere la tracțiune (cum se afirmă de fapt), deoarece condițiile fizice limitează criteriul la o porțiune din MNT, adică GNT și deci $OM_1 = \sigma_t$. În reprezentarea cu ajutorul *cercului lui Mohr*, criteriul devine $\tau_m = c \cdot \cos \varphi + \sigma_m \cdot \sin \varphi$ și care în planul τ_m, σ_m este o linie dreaptă (fig. XVI. 9). Ruperea se produce dacă *cercul lui*

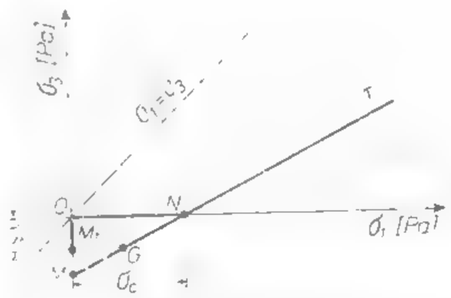


Fig. XVI.8. Criteriul de rupere.

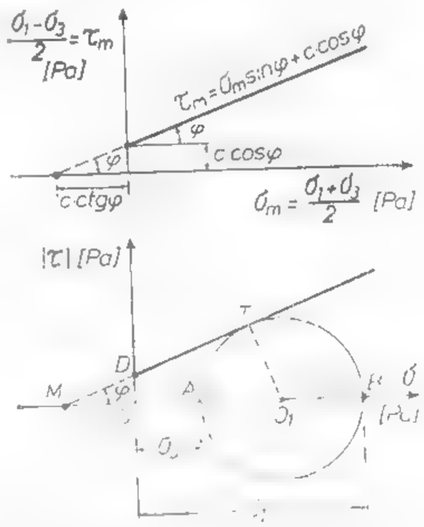


Fig. XVI.9. Reprezentarea cu ajutorul cercului lui Mohr a criteriului de rupere a lui Coulomb.

Mohr atinge cu diametrul linia MDT, adică

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \left[c \cdot \cos \varphi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \varphi \right] \sin \varphi. \qquad (1.27)$$

Un asemenea criteriu se aplică în cazul rocilor fără coeziune (elastice), cu coeziune mică (rocile argiloase) și în cazul acelor roci care nu manifestă ruperi preferențiale la forfecare pe anumite direcții. Astfel:

în cazul rocilor elastice ($c = 0$), (fig. XVI.10, *a*) criteriul este o linie dreaptă ce trece prin originea sistemului de axe (τ; σ) și deci $\tau = \sigma \cdot \mathrm{tg}\,\varphi$. Ruperea se produce cînd *cercul lui Mohr* este tangent la această dreaptă, condiția limită fiind:

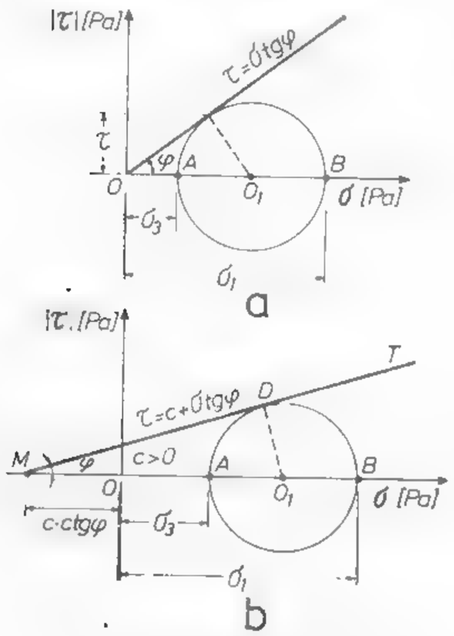


Fig. XVI.10. Criteriul de rupere a lui Coulomb.

$$\sigma_{min} = \sigma_3 \geqslant \frac{OO_1 - \overline{O_1A}}{OO_1 + \overline{O_1B}} = \frac{OO_1 - r}{OO_1 + r} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi};$$

$$\sigma_{max} = \sigma_1$$

$$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \geqslant i = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi} = \mathrm{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right); \tag{1.28}$$

— *în cazul rocilor cu coeziune*, ($c \neq 0$), (fig. XVI. 10, *b*) condiția devine

$$\frac{\sigma_3 + c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi}{\sigma_1 + c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi} \geqslant \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}; \text{ sau } \sin\varphi \geqslant$$

$$\geqslant \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi} \tag{1.29}$$

iar

— *în cazul unui masiv stratificat și condiții hidrogeologice evidente*, ruperea se produce după plane de alunecare înclinate cu un unghi față de tensiunile principale (fig. XVI.11)

$$\sigma = -\sigma_z \cos\beta \cdot \cos\beta - \sigma_x \sin\beta \cdot \sin\beta,$$

$$\tau = -\sigma_z \cos\beta \cdot \sin\beta + \sigma \sin\beta \cos\beta,$$

care introduse în $\tau \leqslant c + (\sigma - u_1) \cdot \mathrm{tg}\,\varphi$ conduc la condiția

$$\sigma_z \cos\beta \cdot \sin(\varphi - \beta) - \sigma_x \sin\beta \cdot \cos(\varphi - \beta) \leqslant c \cdot \cos\varphi + u_1 \sin\varphi \tag{1.30}$$

sau cînd $c = 0$ și $u_1 = 0$ la condiția

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_z} \leqslant \mathrm{tg}\,\varphi \cdot \frac{\sin(\varphi - \beta)}{\mathrm{tg}\,\beta} = \frac{\mathrm{tg}(\beta - \varphi)}{\mathrm{tg}\,\beta} \tag{1.31}$$

Utilizarea acestei relații în cazul unei lucrări miniere executate în masiv stratificat (caracterizat de: $\sigma_z = 2$[MPa]; $\beta = 50^\circ$, $\varphi = 40^\circ$; $u_1 = 0$ și $c = 0$), (fig. XVI.11), stabilește

valoarea efortului lateral necesar pentru menținerea stabilității ca fiind de: $\sigma_x = \sigma_y = 0{,}2$ [MPa]. *Criteriul lui Mohr* presupune că ruperea se produce în momentul în care se îndeplinește condiția de plasticitate, relația (1.16). O asemenea expresie poate fi reprezentată grafic printr-o curbă — înfășurătoare — fie de tip parabolic, fie cicloidal, fie chiar sub forma unei drepte. Curba dată de expresia (1.16) nu este gîndită pentru a fi obținută de o ecuație explicită, ci presupune că se obține experimental ca înfășurătoare a *cercurilor lui Mohr*, corespunzătoare ruperii în condiții diferite. Pentru acest motiv a fost denumită *înfășurătoarea lui Mohr* (fig. XVI.12). În cazul stării de tensiune σ_1; σ_2; σ_3, (condiția $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) ruperea se va produce atunci cînd cercul cu diametrul $\sigma_1 - \sigma_3$ devine tangent la curba intrinsecă $\widehat{AB}$. O asemenea constatare permite evidențierea a două concluzii: (1) valoarea efortului principal intermediar σ_2, după *Mohr*, nu afectează ruperea și (2), planul de rupere trece prin direcția efortului principal intermediar și normala la el face unghiul β cu direcțiile lui σ, iar 2β este unghiul $\widehat{TO_1\sigma}$ dintre normala la curbă și axa $O\sigma$. Experimental s-a constatat că: (1) normala la *înfășurătoarea Mohr* determină direcția de rupere; (2) înfășurătoarea este de obicei concavă, astfel că cu cît valoarea medie a efortului crește, planul de rupere devine înclinat cu un unghi mai mare față de direcția lui σ_1. Curba înfășurătoare crește continuu cu σ_3, astfel încît se va deschide spre dreapta. Asemenea constatări sînt adevărate numai pentru încercări poliaxiale axial simetrice. În contextul ruperii trebuie luată în considerare și influența efortului principal intermediar. În funcție de tipul geometric al înfășurătorilor se pot distinge o serie de

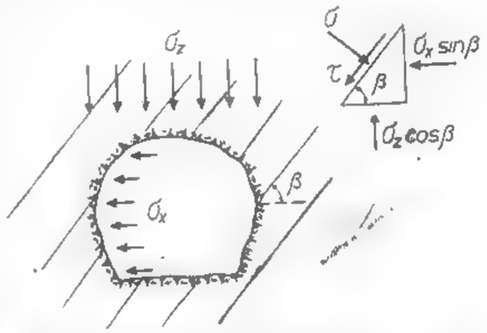


Fig. XVI.11. Producerea ruperii după plane de alunecare înclinate a unui masiv stratificat.

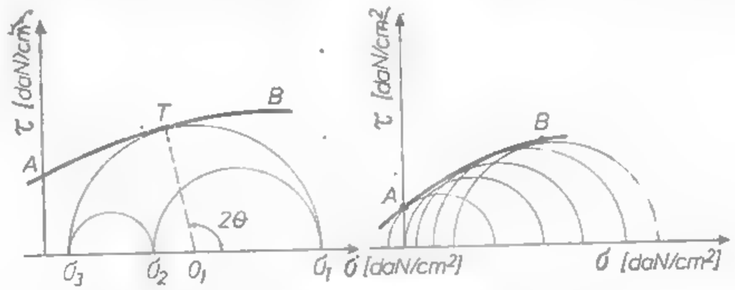


Fig. XVI.12. Înfășurătoarea lui Mohr.

cazuri: *cazul înfășurătorii de tip liniar*, cunoscut și sub denumirea de *criteriul Coulomb Mohr*, este redat analitic prin relația:

$$\sin TAO_1 = \frac{\overline{O_1T}}{AO_1} = \frac{\tau_m}{\sigma_m + c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi} = \sin\varphi \tag{1.32}$$

conform fig. XVI.13 și, ca urmare, ecuația înfășurătorii liniare este deci : $\tau = c + \sigma \cdot \mathrm{tg}\varphi$. Expresia care redă spațial (sub forma unui con) *criteriul lui Coulomb-Mohr* este de forma :

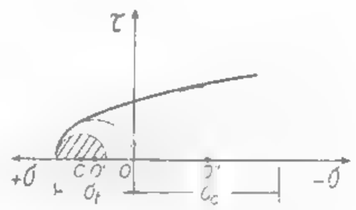
$$(k + \sigma_{oct}) \cdot \mathrm{tg}\,\gamma^{*} - \tau_{oct} = 0 \qquad (1.33)$$

unde : $k = c \cdot \mathrm{ctg}\,\varphi$, iar $\gamma = 45 - j$, în care $j = (1 + \sin\varphi)/(1 - \sin\varphi)$.

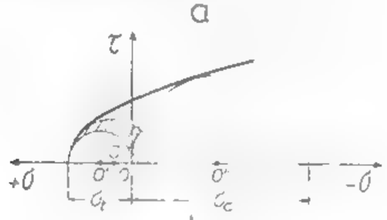
Cazul înfășurătorii de tip cicloidal este redat printr-o serie de relații. De exemplu, pentru cărbuni se recomandă utilizarea ecuațiilor cicloidei de forma

$$\sigma + \sigma_t = \frac{1}{2} k(4\psi - \sin 4\psi),$$

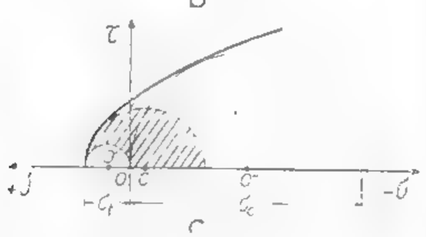
$$\tau = \frac{1}{2} k(1 - \cos 4\psi) \qquad (1.34)$$



a



b



c

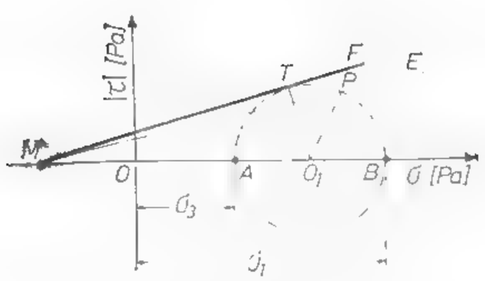


Fig. XVI.13. Cazul înfășurătorii de tip liniar.

Fig. XVI.14. Cazul înfășurătorii de tip parabolic.

unde k este raza cercului osculator de vîrf al cicloidei dat de relația

$$k = \frac{\sigma_t - c\,\mathrm{ctg}\,\varphi}{\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) - \mathrm{ctg}\,\varphi} \qquad (1.35)$$

Cazul înfășurătorii de tip parabolic, a cărei ecuație este de forma :

$$\tau = (c - \sigma \cdot \mathrm{tg}\,\varphi)^{\frac{1}{2}} \qquad (1.36)$$

apare pentru roci, funcție de poziția centrului cercului osculator de vîrf al parabolei, diferențierea a trei comportamente de deformare

$$\tau = 0, \quad \sigma = \sigma_t \left[1 - \sqrt{(1 - j)} - \frac{1}{2} j\right] \qquad (1.37)$$

(1), comportament plastic, cînd $j < 3$, (fig. XVI.14, *a*) ; (2) comportament elastoplastic, cînd $3 < j < 5$, (fig. XVI.14, *b*) ; (3) comportament elastic, cînd $j > 5$, (fig. XVI.14, *c*).

Criteriul lui Griffith pleacă de la realitatea că roca este neomogenă, neomogenitate materializată prin prezența microfisurilor și a fisurilor în structura ei. Prezența microfisurilor are drept efect concentrări de tensiune pe conturul lor. *Griffith* a presupus microfisuri de formă eliptică (fig. XVI.15) și a stabilit criteriul de rupere, în sensul că ruperea se produce :

$$(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 8\,\sigma_t(\sigma_1 + \sigma_3) \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3\,\sigma_3 > 0 \qquad (1.38)$$

$$\sigma_3 = -\sigma_t \quad \text{dacă} \quad \sigma_1 + 3\,\sigma_3 < 0 \qquad (1.39)$$

și a cărui prezentare grafică este redată în fig. XVI.16 liniară (dreapta ABC : $\sigma_1 = \sigma_t$ pentru $\sigma_t < \sigma_1 < 3\,\sigma_t$ și parabolică (porțiunea CDE) conform relației (1.38) și care intersectează porțiunea liniară în punctul C ($3\,\sigma_t$; σ_t). Parabola completă, relația (1.38), trece prin origine (fig. XVI.16). Cînd $\sigma_3 = 0$, cazul compresiunii monoaxiale, $\sigma_1 = 8\,\sigma_t$ și deci rezistența de rupere la compresiune monoaxială este $\sigma_c = 8\,\sigma_t$. Prognozarea dată

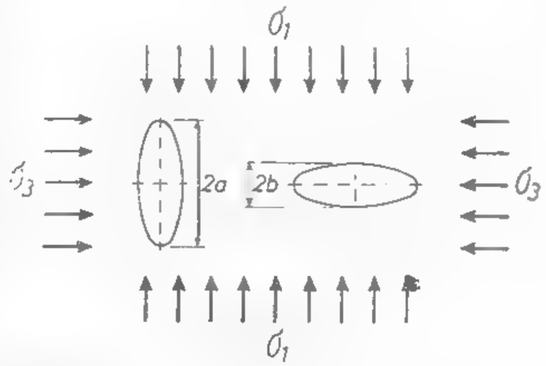


Fig. XVI.15. Fisuri de formă eliptică.

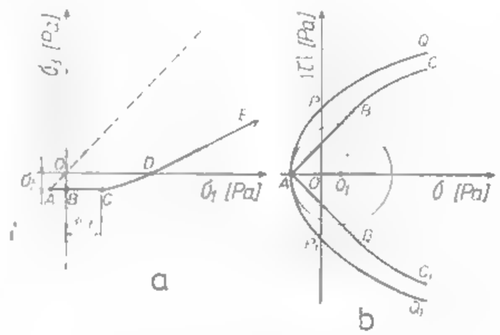


Fig. XVI.16. Criteriul de rupere Griffitz : *a* — liniar ; *b* — parabolic

de rezistență la compresiune este utilizabilă, dar practica ne relevă că valoric ea este de ordinul unui mai mare. În contextul teoriei *cercului lui Mohr*, *criteriul lui Griffith* devine :

$$\tau_m^2 = 4\,\sigma_t \cdot \sigma_m \quad \text{dacă} \quad 2\sigma_m > \tau_m \qquad (1.40)$$

$$\tau_m = \sigma_m - \sigma_t \quad \text{dacă} \quad 2\sigma_m < \tau_m \qquad (1.41)$$

reprezentat grafic în fig. XVI.16 (prin dreapta AB cu înclinarea de 45° pentru $-\sigma_t < \sigma_m < \sigma_t$ și pe o curbă parabolică BC pentru $\sigma_m < \sigma_t$). Cercurile *Mohr* pentru segmentul [illegible] prin punctul A. Determinarea înfășurătorii *Mohr* pentru punctele care [illegible] parabola BC se realizează prin [illegible] înfășurătorii cercurilor de centru σ_m și [illegible] ecuație este de forma :

$$f(\sigma, \sigma_m) = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - \tau_m^2 = (\sigma - \sigma_m)^2 + \tau^2 - 4\sigma_{tm} = 0 \qquad (1)$$

Eliminînd pe σ_m între ecuațiile sistemului

$$f(\sigma, \sigma_m) = 0$$

$$\frac{\partial f(\sigma, \sigma_m)}{\partial \sigma_m} = 0$$

se obține : $\sigma - \sigma_m + 2\sigma_t = 0$ care, combinată cu relați[illegible] de forma : $\tau^2 = 4\sigma_t(\sigma + \sigma_t)$ ce definește parabola ATP [illegible] grafică a *criteriului lui Griffith*. Analizînd cele două moduri de ruperi [illegible]

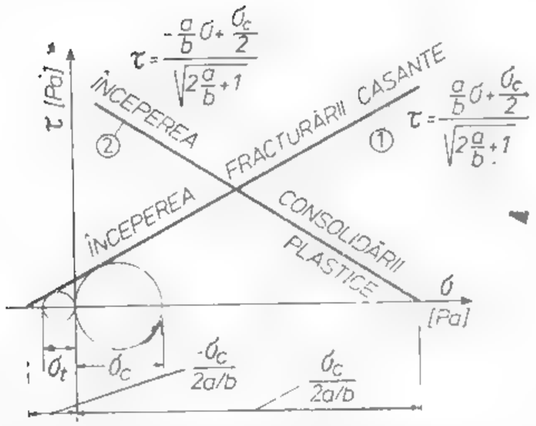


Fig. XVI.17. Expresiile de rupere a înfășuratorilor Mohr de tip ductil și casant.

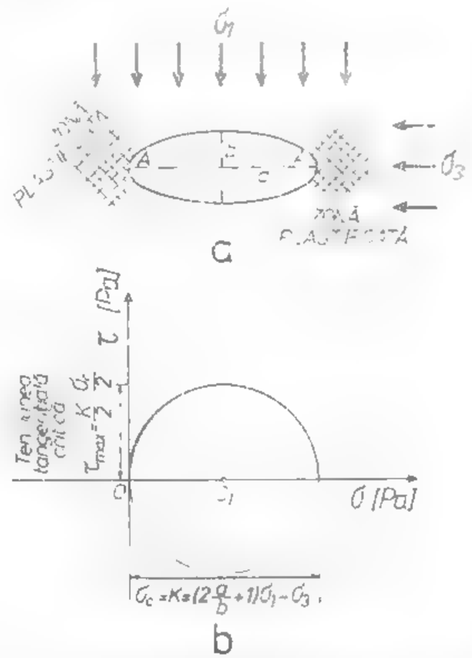


Fig. XVI.18. Redarea grafică a începerii ruperii plastice.

sau plastă, s-au stabilit acăi expresiile *înfășurătorilor Mohr* pentru ruperea casantă și ruperea plastică (fig. XVI.17), cît și redarea grafică și analitică (fig. XVI.18) a începerii ruperii plastice. O generalizare logică a *criteriului lui Griffith* (în spațiu tridimensional) conduce la presupunerea că suprafața de rupere are forma unui paraboloid de revoluție

cu axul $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ și a cărei ecuație este : $\tau_{oct}^2 = 8\sigma_t \cdot \sigma_{oct}$, ca rezultat al rotației parabolei din fig. XVI.19 de ecuație $y^2 = 4bx$. Se pare că această teorie este în concordanță bună cu rezultatele experimentale, deoarece în acest caz rezultă că $\sigma_c = 12\sigma_t$.

După prezentarea criteriilor, problema care se pune este aceea de a vedea care [illegible] trebuie preferat. Răspunsul este greu de dat atîta timp cît nu vor exista sufi

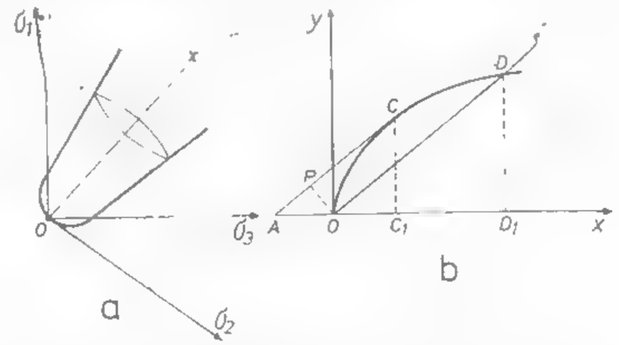


Fig. XVI.19. Criteriul de rupere a lui Griffith generalizat.

ate date asupra proprietăților mecanice ale rocilor. Există totuși două deosebiri principale între ipotezele teoretice : (1) *criteriul Coulomb* prezice o variație liniară a lui σ_1 cu σ_3 pe cînd *Griffith* una parabolică. Nici una din afirmații nu este reală și expresia [illegible]ralizată a teoriei lui *Griffith* este mai plauzibilă ($\sigma_1 = \sigma_t + b\,\sigma_3^{m}$); (2) *criteriile Coulomb, Mohr, Griffith* susțin că efortul intermediar σ_2 nu are efect asupra rezistenței rocii. Numai cel generalizat a lui *Griffith* acceptă un asemenea efect

2. METODE EXPERIMENTALE PENTRU CARACTERIZAREA ROCILOR ȘI SUBSTANȚELOR MINERALE UTILE

2.1. RECOLTAREA ȘI PRELEVAREA PROBELOR DE ROCI

Precedînd o [illegible] rocilor din punct de vedere heterogen [illegible] stabilit. Luarea de probe [illegible] și fie reală, exactă și specifică [illegible] urmărite. Ca urmare a acestui fapt operația de colectare trebuie să fie [illegible] **leanua precedată de o serie de observații, determinări și studii referitoare la litologia** [illegible] **cunoașterea proprietăților geologice și de legătura creată în timp de fenomenele geotectonice : structura, textura, compoziția mineralogică, natura matricei sau a materialului de cimentare, gradul de alterare, heterotropia și anizotropia. Toate acestea** [illegible] pe documentația grafică minieră. Foarte adesea modificările [illegible] **ne ajută la delimitarea directă a unor zone diferite. Prezența clivajelor, a fisurilor,**

a crăpăturilor și a altor discontinuități se impun a fi luate în considerare în momentul colectării și notate. Precizăm că proprietățile rocilor variază extrem de mult în zona regiunilor faliate, a cutelor etc. În mod obișnuit probele sînt colectate sub forma de blocuri sau carote. Blocurile sînt colectate fie prin tăiere, fie prin intermediul perforării de găuri secante. Nu se admite o colectare de blocuri din roca excavată. Colectarea necesită foarte multă atenție, în sensul că blocurile colectate trebuie să includă la scara respectivă inerentele defecte structurale, plane de slăbire, de heterogenitate etc. În final probele [illegible] și colectate se parafinează imediat după extragerea din masiv, numerotîndu-se și etichetîndu-se în vederea păstrării tuturor caracteristicilor care se pot modifica odată cu schimbarea condițiilor înconjurătoare. În timpul transportului, probele nu trebuie supuse [illegible] lovituri sau vibrații excesive. Depozitarea lor pînă la prelucrare se va face în [illegible] adecvate și care să nu le afecteze cu nimic integritatea fizică și mecanică.

2.2. CARACTERISTICI FIZICE

Rocile și substanțele minerale utile, din punct de vedere fizic, sînt sisteme trifazice constituite dintr-un amestec de materie solidă, apă și gaze. Cunoașterea stării fizice a rocilor și a influenței acesteia asupra activității miniere se poate realiza numai prin determinarea unor caracteristici fizice. Dintr-o gamă largă de proprietăți fizice pe care o oferă literatura de specialitate se impune cunoașterea proprietăților de densitate și a celor care caracterizează roca ca un corp complex — trifazic — atît ca compoziție cît și construcție.

Proprietățile fizice ce caracterizează densitatea rocilor și care se manifestă ca rezultat al forțelor gravitaționale se pot diferența în: (1) *gravitaționale propriu-zise*, care includ greutatea specifică (γ); greutatea specifică aparentă sau volumetrică (γ_a) și (2) *structurale*, care includ: analiza granulometrică; masa specifică (ρ); masa volumetrică sau densitatea (ρ_a); porozitatea (n); cifra porilor (e).

Greutatea specifică (γ) este definită ca fiind greutatea unității de volum a fazei solide a rocii sau substanței minerale utile. Valoric se determină pe cale de laborator prin metoda picnometrului (fig. XVI.20), folosind relația experimentală:

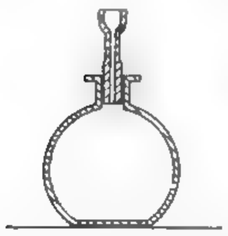


Fig. XVI. 20. Picnometru.

$$\gamma = \frac{(G_2 - G) \cdot \gamma_w}{(G_1 - G) - (G_3 - G_2)} \quad [N/m^3] \qquad (2.1)$$

în care: G este greutatea picnometrului gol și uscat;
G_1 — greutatea picnometrului plin cu apă distilată pînă la reper;
G_2 — greutatea picnometrului cu material;
G_3 — greutatea picnometrului cu material și apă distilată pînă la reper după fierbere și răcire.

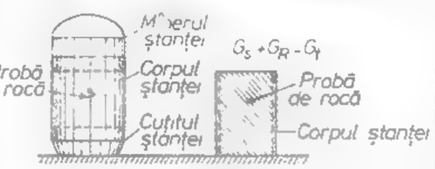
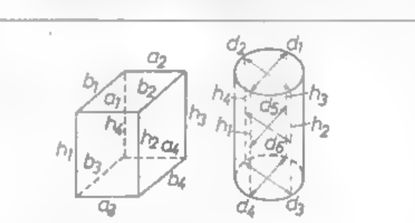
Valorile greutății specifice a rocilor în raport cu mineralele constituente variază de obicei între limitele $(1,5-5) \cdot 10^4$ N/m³.

Greutatea specifică aparentă (γ_a) este definită ca fiind greutatea unității de volum aparent al rocii sau substanței minerale utile. În laborator se determină, în general prin metoda parafinării, folosind relația experimentală:

$$\gamma_a = \frac{G \cdot \gamma_w \cdot \gamma_p}{\gamma_p (G_1 - G_2) - \gamma_w (G_1 - G)} \quad [N/m^3] \qquad (2.2)$$

în care: G este greutatea probei de rocă cîntărită în aer;
G_1 — greutatea probei parafinate cîntărită în aer;
G_2 — greutatea probei parafinată și cîntărită în apă;
γ_p — greutatea specifică aparentă a parafinei, $(0,87-0,92) \cdot 10^4$ N/m³;
γ_w — greutatea specifică aparentă a apei $(1,00 \cdot 10^4$ N/m³), sau utilizînd, procedee în funcție de natura rocilor și substanțelor minerale utile, (tabelul XVI.3). Astăzi se folosește pe scară tot mai largă *metoda modificării fasciculului impus* sau *gamma-gamma*. Este o proprietate calitativ-cantitativă.

Tabelul XVI.3. Procedee de determinare a greutății volumetrice

DOMENIUL DE UTILIZARE		DENUMIREA PROCEDEULUI	ILUSTRAREA GRAFICĂ A PRINCIPIULUI DE DETERMINARE UTILIZAT DE PROCEDEU	RELAȚIA ANALITICĂ UTILIZATĂ
Roci clastice (c-0)		Determinări directe prin cîntărire (G) și măsurare (V)		$\gamma_a = \frac{G}{V}$ [N/m³] G - greutatea rocii clastice determinată prin cîntărire, V - volumul total măsurat cu cilindrul gradat
Roci coezive	Roci ma.	Procedeul ștanței		$\gamma_a = \frac{G_t - G_s}{V}$ [N/m³] G_s - greutatea corpului ștanței, G_t - greutatea corpului ștanței cu rocă; V - volumul interior al ștanței egal cu volumul total al probei
	Roci semistîncoase	Determinarea dimensiunilor liniare		$\gamma_a = \frac{G_t \left(1 + \frac{W_a}{100}\right)}{V}$ [N/m³] V = a·b·h (prismă) $a = 0,25(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)$; $b = 0,25(b_1 + b_2 + b_3 + b_4)$; $h = 0,25(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$; $V = \frac{\pi d^2}{4} h$ (cilindru) $d = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} d_i$; $h = \frac{1}{4}\sum_{i=1}^{4} h_i$

Drept indicator calitativ redă informații referitoare la gradul de alterare a rocilor, în sensul descreșterii sale pentru unul și același tip de rocă cu creșterea alterării. Cantitativ este totdeauna mai mică decît greutatea specifică.

Compoziția granulometrică. Roca sau substanța minerală utilă, structural, nu este niciodată omogenă. Componentul solid este format din granule de diferite mărimi înconjurate de goluri și ciment de legătură. Mărimea granulelor variază între limite foarte largi — de la granule coloidale pînă la mărimea unor grohotișuri. Mărimea și prezența lor procentuală influențează mult comportarea rocilor. Avînd în vedere acest fapt, este necesară stabilirea repartizării cantitative (procentuale) pe dimensiuni a particulelor componente ale acestora. Un asemenea deziderat se poate realiza prin *analiza granulometrică*, adică determinarea repartizării procentuale (cantitative) pe dimensiuni a particulelor componente ale unei roci. În funcție de natura rocilor și de ordinul de mărime a fragmentelor acestora, analiza se poate realiza prin mai multe metode (tabelul XVI.4). Rezultatele obținute în urma analizei granulometrice sînt prelucrate și interpretate cu ajutorul diverselor diagrame: histograme, curbe de frecvență, curbe de probabilitate etc. (fig. XVI.21). Dintre aceste reprezentări, des utilizate sînt *histogramele* și *curbele granuol-*

Tabelul XVI.4

Metode utilizate pentru studiul compoziției granulometrice a rocilor

Principiul	Denumirea metodei de analiză	Caracterizarea și domeniul de utilizare a metodei
0	1	2
Cernerii	Cernerea clasică	Se aplică în cazul rocilor clastice sedimentare cimentate și unele roci metamorfice, care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente). Poate separa granule cu un diametru minim de pînă la 40 μ
	Cernerea ultra-fină în domeniul umed	Se aplică în cazul rocilor clastice, sedimentare cimentate și unele roci metamorfice care în contact cu apa se dezagregă (se desfac în granulele lor componente), dar pentru particule cu diametrul cuprins între 40μ – 1 μ și într-un mediu umed constituit din lichide cu anumite caracteristici de densitate viscozitate și tensiune superficială (text)
Levigării	Metoda elutriatorului de diferite tipuri (Banco etc.)	Se pot aplica numai pentru un domeniu bine stabilit și anume diametrul granulelor nu trebuie să aibă un diametru mai mic de 5 μ deoarece apar perturbări de natură browniană; toate cele trei dimensiuni ale granulelor să fie aproximativ egale
În curent de aer	Metoda flurometrelor	Același domeniu de aplicare ca și al elutriatoarelor. Există și procedee combinate cu o centrifugare, caz în care se elimină unele inconveniente ale procedeelor simple prin levigație sau în curent de aer.

Tabelul XVI.4 (continuare)

0	1	2
Sedimentării	Metoda de sedimentare clasică (pipeta *Andresen*, sedimentometrul *Prof.*, vasul lui *Bovanos* etc.)	Domeniul lor de aplicare pentru granule cu diametrul cuprins între 40μ – 2 μ. Toate variantele sedimentării clasice prezintă inconvenientul de a fi lente, puțin precise și false totodată pentru granulele foarte fine (< 2 μ) prin fenomenele de adsorbție, mișcarea browniană, orientarea granulelor care apar în timpul încercărilor
	Metode de sedimentare combinate	S-a mărit domeniul de aplicare al sedimentării pînă la granule cu dimensiunea de 0,25 μ, prin înlocuirea acțiunii accelerației gravitaționale cu accelerația centrifugală.
Optic Electric Laserului etc.	1. Metoda microscopiei clasice 2. Metoda microscopiei televizate 3. Metode ale laserului etc.	Asemenea metode se pot aplica pentru orice tipuri de rocă și pentru granulometrii corespunzătoare, de fapt mărimilor pe care le au acestea în componența rocilor și substanțelor minerale utile. Ele se mai numesc și *metode directe*. Sînt de precizie extrem de mare și rapide. Aplicabilitatea acestor metode nu este limitată

relice probeau-case, deoarece alura și raportul ce există între ele conduc la o caracterizare a rocii studiate. În cazul acestor reprezentări grafice, pe abscisă se trece diametrul particulelor, în ordine descrescătoare și într-o scară logaritmică, iar pe ordonată, procentele în greutate a diverselor fracțiuni. Histograma redă modul de repartizare, pe dimensiuni, a granulelor materialului studiat. Ordonata maximă a histogramei indică greutatea procentuală a granulelor cu dimensiunile cele mai frecvente. Curba granulometrică este curba integrală a histogramei, avînd un punct de inflexiune în dreptul abscisei pentru care histograma prezintă un maxim. Orice ordonată a acestei curbe reprezintă cantitatea procentuală de granule cu diametrul egal sau mai mic decît diametrul din dreptul ordonatei respective. Alura continuitatea histogramei și a curbelor granulometrice conduc la noțiunea de *roci gradulate* sau *n gradulate*. Înclinarea curbei granulometrice dă indicații asupra raportului în care se găsesc mărimile particulelor. Numeric, uniformitatea sau neuniformitatea materialelor se exprimă prin *coeficientul de uniformitate* sau *neuniformitate*

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \qquad (2.3)$$

unde : d_{10} este diametrul efectiv corespunzător la 10% din greutatea totală a materialului ;
d_{60} – diametrul corespunzător la 60% din greutatea totală a materialului. Granula cu diametrul efectiv (d_{10}) este denumită *granulă eficace* și ea caracterizează permeabilitatea, capilaritatea și fenomenul de filtrare a materialului, în sensul că un material ideal

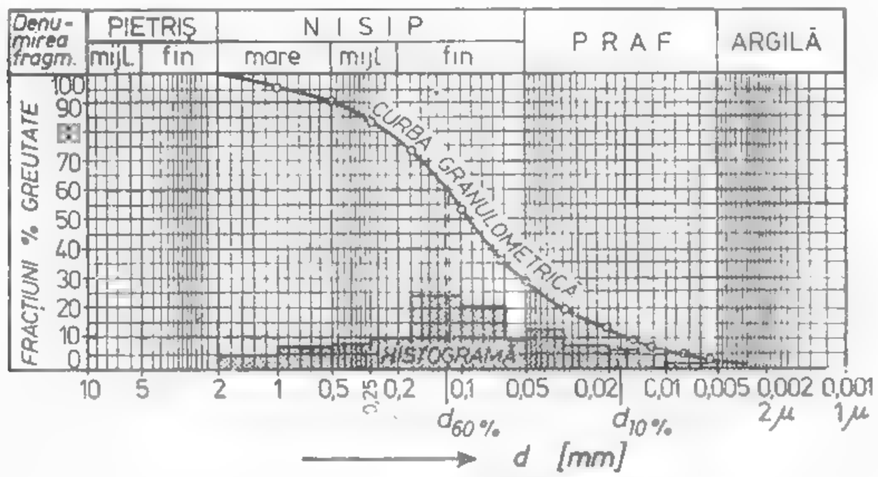


Fig. XVI.21. Curba granulometrică.

avînd toate granulele de mărimea celei eficace are aceeași caracteristici de permeabilitate, capilaritate, filtrare ca și materialul real pentru care s-a determinat diametrul efectiv respectiv.

După valoarea coeficientului de neuniformitate, rocile se clasifică conform tabelului XVI.5.

Tabelul XVI.5

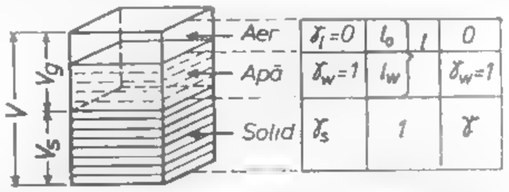
Clasificarea rocilor funcție de coeficientul de neuniformitate

Valoarea coeficientului de neuniformitate, U	Caracterizarea rocilor
$U < 5$	foarte uniforme
$5 < U < 15$	uniformitate medie
$U > 15$	foarte neuniforme

Porozitatea (n). Orice solid care conține goluri sau cavități (interstiții, pori, fisuri, caverne) legate sau nu între ele, distribuite regulat sau întîmplător, poate fi numit *mediu* sau *material poros* dacă acestea se găsesc relativ frecvent în interiorul lui.

Golurile interioare poartă numele de *interstiții, spații poroase* sau simplu *pori*. Porii sînt distribuiți oricum în materialul poros și pot fi sau nu legați între ei. Spațiul poros integral, cu sau fără legături, se numește *spațiu poros total* și este caracterizat de un volum total al golurilor (V_{gt}). Spațiul interconectat se numește *spațiu poros efectiv* și este caracterizat de un volum efectiv al golurilor (V_{ge}). Rocile și substanțele minerale

Fig. XVI.22. Definirea porozității și a indicelui porilor.



utile sînt medii poroase naturale. Porozitatea (n) este proprietatea ce caracterizează, ca și medii poroase, rocile și substanțele minerale utile. Ea este definită (fig. XVI.22) de volumul total al golurilor din unitatea de volum a rocii, fiind reprezentată de raportul dintre dintre volumul golurilor (V_g) și volumul total (V) :

$$n = \frac{V_g}{V} \tag{2.4}$$

Porozitatea este o mărime adimensională și ca atare se exprimă în fracțiuni ale unității sau în procente. De modul cum apare în roci, porozitatea poate fi de diferite tipuri : intergranulară (aceea dintre granulele de siliciu) ; intercristalină (între cristalele de calcit, dolomit) ; de soluție sau disolvare ; de fractură ; cavernaoasă. Noțiunea de porozitate include atît porii din rocile granulare (porozitate interstițială cît și fisurile și golurile din rocile coezive (porozitate fisurată).

În contextul definirii mediului poros (total sau efectiv), porozitatea rocilor și a substanțelor minerale utile se poate clasifica în : *totală* (n_t) sau aparentă, caz în care volumul golurilor include totalitatea porilor interconectați sau nu, existenți în mediul considerat și *efectivă* (n_e) sau reală, caz în care volumul golurilor include numai pori care sînt interconectați în mediul considerat. Deci

$$n_t = \frac{V_{gt}}{V}; \qquad n_e = \frac{V_{ge}}{V} \tag{2.5}$$

Porozitatea efectivă caracterizează roca prin faptul că este acea porozitate prin care apa se poate deplasa sub acțiunea forțelor gravitaționale. Această caracteristică prezintă un mare interes din punct de vedere hidrogeologic și cantitativ corespunde *coeficientului capacității de cedare a apei de către rocă* (C). Valoarea porozității efective depinde de compoziția mineralogică și granulometrică a rocii. Pe măsura micșorării granulometriei crește diferența dintre porozitatea totală și efectivă, ajungîndu-se ca la argile n să tindă către zero, adică aceste roci practic sînt impermeabile. Porozitatea totală se poate exprima cantitativ funcție de o serie de alte caracteristici fizice (tabelul XVI.6). În general, porozitatea are o influență deosebită asupra caracteristicilor mecanice (de rezistență, elastice și reologice) ale rocilor. Este utilizată în o serie de probleme legate de rezistența, stabilitatea rocilor, de infiltrare a apelor, gazelor, acumulărilor și eruptiilor de gaze, a exploziilor de rocă și gaze. Valoric, porozitatea totală variază în limite largi — de la părți ale unui procent pînă la 90% și mai mult. Este acceptată o clasificare a rocilor după porozitate (tabelul XVI.7)

Tabelul XVI.6

Expresiile porozității și ale cifrei porilor

Criteriul de exprimare	Expresia porozității n	Expresia cifrei porilor, e
Funcție de greutatea specifică și aparentă	$n = \frac{V_g}{V} = 1 - \frac{V_s}{V}$ $n = \frac{V - V_s}{V} = \left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma}\right)$	$e = \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} - 1\right)$
Funcție de greutatea specifică, volumetrică și umiditatea W	$n = \left[1 - \frac{\gamma_a}{\gamma\left(1 + \frac{W}{100}\right)}\right]$	
Funcție de cifra porilor respectiv de porozitate	$n = \frac{e}{1 + e}$	$e = \frac{n}{1 - n}$

Tabelul XVI.7

Clasificarea rocilor pe baza porozității

Caracterizarea rocii	Valoarea porozității [%]
Cu porozitate foarte mică	
Cu porozitate mică	5 – 10
Cu porozitate medie	10 – 15
Cu porozitate ridicată	15 – 20
Cu porozitate foarte mare	>20

Indicele porilor (e) sau **cifra porilor** reprezintă raportul dintre volumul golurilor (V_g), (fig. XVI.22) și volumul scheletului mineral sau real al rocii

$$e = \frac{V_g}{V_s} \qquad (2.6)$$

Indicele porilor se poate determina și în funcție de o serie de caracteristici fizice (v. tabelul XVI.6). El prezintă o deosebită importanță în calculul tasărilor, a caracterizării rocilor în vederea utilizării lor pentru fundații etc. sens în care rocile pămîntoase sînt clasificate (tabelul XVI.8).

Tabelul XVI.8

Clasificarea rocilor după indicele porilor

Caracterizarea rocilor	Domeniul de varietate a indicelui porilor, e
Bune ca terenri pentru fundații	$e < 0,5$
Acceptabile pentru fundații	$0,5 < e < 1$
Necesită lucrări artificiale suplimentare de compactare	$e > 1$

Dintre proprietățile fizice ce caracterizează trifazic roca se menționează: umiditatea naturală (W); umiditatea la saturație (W_s); gradul de saturație (S); permeabilitatea rocilor; limitele de consistență.

Umiditatea naturală (W) este raportul dintre cantitatea de apă pe care o conține roca în stare naturală (G_w) și greutatea scheletului mineral solid (G_s). Se determină atît pe cale de laborator cît și *in situ*. Pe cale de laborator se determină în baza relației experimentale

$$W = \frac{G - G_1}{G_1 - G_2} \qquad (2.7)$$

unde: G este greutatea probei de rocă în stare naturală plus tara;
G_1 — greutatea probei după uscare la 105°C plus tara;
G_2 — greutatea tarei

Umiditatea la saturație (W_s) reprezintă raportul dintre cantitatea maximă de apă ($w_{w.max.}$) și greutatea scheletului mineral al rocii. Ea caracterizează de fapt conținutul total de apă la saturarea completă a acesteia și mai poate fi denumită *capacitate totală de umiditate* a unei roci. În contextul unei asemenea noțiuni, des utilizate în domeniul studierii apelor subterane, a problemelor de acvifere etc. se disting: *capacitatea de reținere* și *capacitatea de cedare a apei*, parametri ce exprimă proprietatea pe care o au rocile de a reține, respectiv de a ceda o anumită cantitate de apă în condiții naturale de lucru. Capacitatea de reținere include apa de natura higroscopică, apa legată molecular și o parte din apa capilară. Capacitatea de cedare se referă în genere la apa de natură gravitațională și sub formă de vapori, fiind dependentă de prezența porozității efective sau active a rocii. Deci, capacitatea de cedare a apei nu este o constantă ci variază cu durata drenării și în funcție de cantitatea de apă existentă în rocă. Astfel, în cazul rocilor saturate, la început

cedarea apei se produce cu viteză maximă, scăzînd apoi pînă la încetarea oricărei curgeri. O asemenea caracteristică este în funcție de:

compoziția granulometrică (scade pe măsura micșorării mărimii granulelor componente), tabelul XVI.9;

Tabelul XVI.9

Variația capacității de cedare a apei funcție de granulometria rocilor clastice

Roca	Valoarea capacității de cedare a apei
Nisip grosier	0,25 – 0,35
Nisip mijlociu	0,17 – 0,21
Nisip fin	0,10 – 0,18
Nisip prăfos	0,05 – 0,10

de structura, textura și gradul de fisurație a rocilor, depinzînd de densitatea de fisurație și gradul de deschidere al fisurilor.

Astfel rocile de tipul gnaisurilor, micașisturilor, caracterizate de o fisurație dezvoltată, dar de dimensiuni capilare, au capacitatea de reținere mare și o capacitate de cedare scăzută, pe cînd calcarele masive, granitele, granodioritele și în genere rocile cristaline, cu fisuri bine dezvoltate și pronunțat deschise, au o capacitate de reținere foarte redusă. În funcție de raportul dintre capacitatea de cedare și capacitatea de reținere, rocile saturate se împart în: *acviclude* — cele cu o capacitate de cedare nulă și *acvifere* — cele cu o anumită capacitate de cedare a apei.

Starea de saturație a unei roci poate fi caracterizată și prin ***gradul de saturație*** (S), adică

$$S = \frac{W}{W_s} \tag{2.8}$$

În funcție de gradul de saturație rocile se pot clasifica conform tabelului XVI.10.

Tabelul XVI.10

Clasificarea rocilor funcție de gradul de saturație

Caracterizarea rocilor	Valoarea gradului de saturație
Uscate	$0 < S < 0,4$
Umede	$0,4 < S < 0,8$
Foarte umede	$0,8 < S < 1$
Saturate	$S = 1$

Permeabilitatea este proprietatea pe care o au rocile de a permite trecerea sau curgerea apei (și a gazelor) prin ele. Estimarea acestei proprietăți poate fi exprimată valoric prin *coeficientul de permeabilitate* (k).

În condiții de laborator k se poate determina printr-o serie de metode, funcție de natura rocilor (tabelul XVI.11). În funcție de natura rocilor clastice sau coezive, permeabilitatea se manifestă în mod diferit, atît ca intensitate cît și ca fenomen.

Tabelul XVI.11

Metode de determinare a coeficientului de permeabilitate k

Natura rocilor	Metoda	Procedeul	Relațiile de calcul
Clastice	Cu gradient	Variabil	$k = 2,3 \frac{A_1 \cdot l}{A_2 \cdot t} \lg \frac{h_i}{h_f}$
		Constant	$k = \frac{Q}{A \cdot i \cdot t}$
Semistîncoase și stîncoase	Percolării	Longitudinale	$k = \frac{QL}{p \cdot A}$ sau $k = \frac{V \cdot L}{A \cdot p \cdot t}$
		Radiale — divergentă	$k = \frac{Q}{A \cdot S}$
		Radiale — convergentă	$k = \frac{Q}{2\pi l \cdot p} \cdot \lg \frac{R_2}{R_1}$

Semnificații: A_1 și A_2 — secțiunea cilindrului gradat, respectiv a probei; l — lungimea probei; h_i; h_f — înălțimea inițială și finală a apei în cilindru; Q — debitul de apă; i — gradientul hidraulic; p — presiunea de lucru; V — volumul de apă ce trece prin probă în timpul t; L — lungimea epruvetei; R_1; R_2 — razele interioară și exterioară a epruvetei.

În mod concret, în cazul rocilor clastice, lipsite de coeziune, permeabilitatea se manifestă printr-un *proces de filtrare*; în cazul rocilor coezive, dar fisurate — printr-un *proces de fluație*, iar în cazul rocilor coezive nefisurate, caracterizate de o anumită porozitate reală — prin *coeficientul de permeabilitate propriu-zis*.

Tabelul XVI.12

Clasificarea rocilor funcție de coeficienții de filtrare și permeabilitate

Grupa	Caracterizarea roci	Coeficientul de filtrare k_f pentru apă cu temperatura de referință $t^0 = 20°C$		Coeficientul de permeabilitate k
		m/zi	cm/s	cm²
I	*Roci cu permeabilitate foarte mare*, bolovănișuri, pietrișuri cu nisip și loess, calcare puternic fisurate, roci tuferitice fisurate	100 – 1000 și mai mare	0,12 – 1,16	$1,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-5}$
II	*Roci cu permeabilitate mare*, bolovănișuri și pietrișuri colmatate cu nisip fin, nisipuri grosiere cu fi și argile	10 – 100	0,012 – 0,12	$1,2 \cdot 10^{-7} - 1,2 \cdot 10^{-6}$
III	*Roci permeabile*, bolovănișuri și pietrișuri colmatate cu nisip și parțial cu argilă, nisipuri mijlocii și fine, loess și tufuri fisurate	1 – 10	$1,2 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-8} - 1,2 \cdot 10^{-7}$
IV	*Roci slab permeabile*: nisipuri fine, nisipuri argiloase, loess și tufuri fisurate, loess	0,1 – 1	$1,2 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-9} - 1,2 \cdot 10^{-8}$
V	*Roci foarte slab permeabile*: argile nisipoase, argile, loess și tufuri slab fisurate	0,001 – 0,1	$1,2 \cdot 10^{-6} - 1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-10} - 1,2 \cdot 10^{-9}$
VI	*Roci practic impermeabile*: argile marnoase, argile, marne, tufuri masive	0,001	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$

Procesul de filtrare, în cazul rocilor clastice, este evidențiat de capacitatea filtrată a lor, exprimată prin *coeficientul de filtrare* (k_f), definit ca fiind viteza de filtrare printr-un acvifer la un gradient hidraulic unitar și la o temperatură dată

$$k_f = k \frac{\gamma_w}{\eta} \qquad (2.9)$$

în care η este coeficientul de viscozitate dinamică.

În funcție de coeficienții de filtrare și permeabilitate rocile pot fi clasificate în grupe (tabelul XVI.12). Se precizează că în cazul rocilor carstice și fisurate, permeabilitatea se poate concretiza practic prin noțiunea de *absorbție specifică* sau *capacitate de debitare* (q), determinată prin pompări experimentale și exprimată în l/min pe metru de coloană și 1 m grosime de orizont acvifer deschis (tabelul XVI.13).

Tabelul XVI.13

Clasificarea rocilor fisurate funcție de capacitatea de debitare

Clasa	Caracterizarea roci	Valoarea capacității de debitare, q l/min
1	Roci practic impermeabile	0,001
2	Roci slab permeabile	0,001 – 0,01
3	Roci permeabile	0,01 – 0,1
4	Roci cu permeabilitate medie	0,1 – 1
5	Roci cu permeabilitate ridicată	1 – 10
6	Roci cu permeabilitate foarte mare	10 – 100
7	Roci cu permeabilitate excepțională	> 100

Limitele de consistență sînt caracteristice rocilor argiloase, argilele marnoase și celor predispuse alterărilor de natură chimică. Funcție de cantitatea de apă conținută de asemenea roci, acestea se pot prezenta sub diferite stări de consistență, în ordinea

de la starea unui solid tare pînă la starea unui lichid viscos (fig. XVI.23). Separația dintre cele patru stări (fig. XVI.23) a realizat-o *Atterberger* după anumite limite, (fig. XVI.23) :

— *limita superioară de plasticitate* sau *limita inferioară de curgere* (W_c), adică umiditatea W_c (fig. XVI.23) corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică în starea de curgere ;

limita inferioară de plasticitate sau *limita de frămîntare* (W_f), adică umiditatea W_f corespunzătoare trecerii rocii din starea plastică la starea unui corp semitare, (fig. XVI.23) ;

limita de contracție (W_s), adică umiditatea W_s la punctul de trecere a rocii din starea semitare la starea unui corp tare.

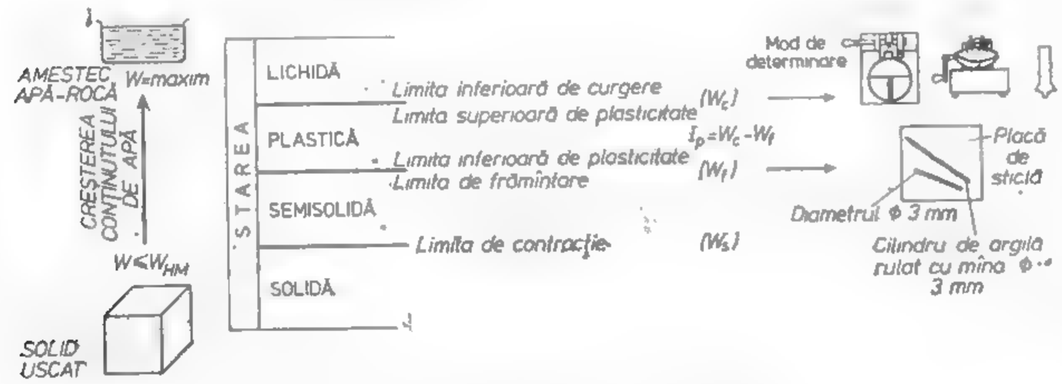


Fig. XVI.23. Limitele de consistență.

Intervalul dintre două limite consecutive definește zona conținutului de apă care corespunde unei stări determinate. Valorile limitele se determină ca umidități pe probe de rocă constituite din fracțiuni cu o granulație ce trece prin sita de 0,42 mm și cu metodologii redate de literatura de specialitate. Din punct de vedere practic, pe baza *Testului lui Atterberger* rocile se pot caracterizа prin o serie de indici (tabelul XVI.14). În funcție de

Tabelul XVI.14

Indici ce caracterizează rocile în funcție de limitele de consistență

Denumirea indicelui	Expresia analitică
Indice de plasticitate	$I_p = W_c - W_f$
Indice de consistență	$I_c = \frac{W_c - W}{W_c - W_f}$ pentru $W_c > W$ $I_c = \frac{W - W_c}{W_c - W_f}$ pentru $W > W_c$

Tabelul XVI.15

Clasificarea rocilor funcție de indicii de consistență

După indicele de plasticitate, I_p		După indicele de consistență, I_c		
Categoria rocii	Valoarea lui I_p	Categoria rocii	Valoarea indicelui I_c	Caracterizare
Nisipuri	$I_p \leq 1$	*Roci coagulate*	$I_c < 0$	Nu se pot folosi pentru fundații *instabile*
Roci argiloase:	$I_p > 1$	*Roci plastic tare*	$0 < I_c < 0,25$	Nu se pot folosi pentru fundații *instabile*
— nisipuri argiloase	$1 < I_p < 7$	*Roci moi, cu plasticitate redusă*	$0,25 < I_c < 0,5$	Tasări foarte mari — *instabile*
— praf argilos	$7 < I_p < 17$		$0,5 < I_c < 0,75$	Tasări mari *foarte mică* *stabilitate*
— argile slabe	$17 < I_p < 30$	*Roci consistente*	$0,75 < I_c < 1$	Tasări medii *mică* *stabilitate*
obișnuite	$30 < I_p < 60$	*Roci cleioase*		
grase	$60 < I_p < 100$	*Roci tari*	$I_c > 1$	Tasări mici *stabile*
foarte grase	$I_p > 100$	*Roci foarte tari*	$I_c > 1$	Nu prezintă tasări — *foarte stabile*

acești indici se pot clasifica conform tabelului XVI.15. În domeniul minieritului, în afara caracterizării rocii ca stare fizică, a comportamentului plastic al rocilor argiloase sau cu componenți argilo și etc., parametrii de consistență pot servi atît la stabilirea calității burajului (fig. XVI.24), cît și la alegerea materialului corespunzător pentru realizarea pulpelor necesare inundării focurilor subterane prin înnămolire. Calitățile ce trebuie să le aibă o argilă în scopurile precizate sînt redate în tabelul XVI.16.

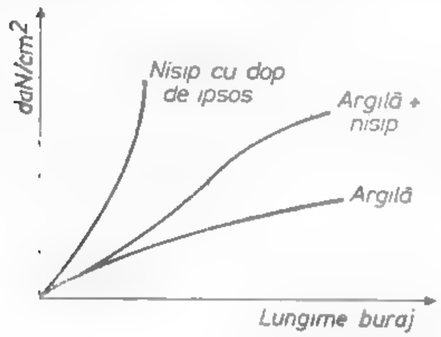


Fig. XVI.24. Rezistența la azvîrlire din gaura de mină a burajului din amestecuri diferite.

Tabelul XVI.16

Calități pe care trebuie să le îndeplinească o argilă pentru buraj

Calitatea burajului	Calitatea pulpei la înnămolire
Argilă: $20 < W_e < 35$; $10 < I_p < 30$ rezistența la azvîrlire din gaura de mină 50 MP_a	Argilă nisipoasă γ 2,45 2,8 γ_a 1,72 1,94 W 17 32 I_p 6 6 24

Obs.: Compoziția exactă și proprietățile materialului folosit la înnămolire se stabilesc funcție de natura zăcămîntului, condițiile geologice și petrografice ale rocilor înconjurătoare.

2.3. CARACTERISTICI MECANICE

Proprietatea pe care o au rocile și substanțele minerale utile supuse solicitării de a se opune acțiunii de distrugere a structurii lor și de a-și păstra, între anumite limite, forma geometrică se numește *rezistență*. Rezistența unei roci este o mărime variabilă a cărei modificare este determinată de factori ce depind de natura rocii, de orientarea și de direcțiile de solicitare, de viteza de solicitare și de durata solicitărilor.

Rezistența rocilor este caracterizată de o serie de proprietăți mecanice. Cele mai importante caracteristici mecanice de rezistență sînt: *rezistența de rupere la compresiune*

monoaxială (σ_c); *rezistența de rupere la tracțiune* (σ_t); *rezistența de rupere la forfecare* (τ_f). Cele mai multe fenomene, probleme, din domeniul minier implică una sau alta din aceste proprietăți. Factorii care influențează rezultatele încercărilor sînt: caracteristicile echipamentului de încercare, măsurarea, mărimea epruvetelor și forma lor, pregătirea și realizarea suprafețelor după care se solicită epruvetele, vitezele de solicitare, temperatura și umiditatea. Astfel, din cauză că deformația de rupere a rocii este mică (circa 0,001 0,003 la tracțiune și de 0,002 0,025 la compresiune), instrumentele de măsură a deformațiilor trebuie să fie foarte sensibile. Asemenea instrumente sînt construite fie pe principiul mecanic (microcomparatoare cu precizia de 1/100—1/1000), optic, tensometric sau amplificare electronică. Ca echipamente de solicitare se folosesc mașinile universale de

Tabelul XVI.17

Forme de epruvete utilizate în determinarea caracteristicilor mecanice de rezistență, elastice, reologice

Grupa	Tipul de epruvete	Tipul solicitării
	Cuburi	Compresiune
Regulate	Prisme cu baza un pătrat	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Prisme cu baza un dreptunghi	Compresiune
	Cilindri	Compresiune, tracțiune, forfecare
	Bare cu secțiunea transversală un pătrat	Încovoiere, tracțiune pentru roci
	Bare cu secțiunea transversală un dreptunghi	Cu rezistența la tracțiune mai mică decît rezistența adezivului
Neregulate	Aproximativ sferice De forma alungită	Compresiune pe cale directă Tracțiune, forfecare
	Bulgări cu contur neregulat	Consacasare statică, concasare dinamică
Speciale	Piscot în diferite variante	La tracțiune pură
	Forme de tipul brichetelor	Compresiune după diferite direcții
	Forme de discuri, forme de saibe	Tracțiune și forfecare

încercat construite pe principiul hidraulic cu limite ale sarcinii dezvoltate ce poate varia între 0 și $3 \cdot 10^3$ kN sau mașinile universale de încercat de tip rigid acționate electronic (instalații inductive).

Epruvetele utilizate sînt de formă regulată, neregulată și speciale (tabelul XVI.17). Epruvetele de formă regulată sînt confecționate cel mai frecvent prin carotare la diametrul de 42 mm și tăiate apoi la un coeficient de svelțete λ, în funcție de tipul solicitării. Astfel, pentru încercarea la compresiune monoaxială se recomandă un $\lambda = 2$. Pentru încercarea la tracțiune, în funcție de procedeul folosit, se recomandă $\lambda = 1$ (în cazul procedeului brazilian $\lambda = 1$; în cazul comprimării cilindrilor sau a epruvetelor de formă prismatică după o generatoare $\lambda = 1 - 2,5$). Pentru solicitări la forfecare $\lambda = 1$, iar pentru încercările poliaxiale $\lambda = 2 - 3$.

Rezistența de rupere la compresiune monoaxială (σ_c) este definită ca fiind valoarea tensiunii de rupere a epruvetelor de rocă supuse solicitării la compresiune

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (2.10)$$

unde: F este forța aplicată;

A — suprafața de solicitare a epruvetei.

O serie de factori afectează valoarea acestei rezistențe: frecarea între platanele mașinii de încercat și suprafețele epruvetelor; geometria epruvetei (forma și efectul de scară); viteza de solicitare; condițiile înconjurătoare (umiditate, temperatură etc.). La încercare trebuie respectate condițiile date în tabelul XVI.18.

Dacă nu se iau în considerare factorii respectivi și influența lor și nu se respectă condițiile impuse de tabelul XVI.18, atunci rezultatele pot fi eronate și în mod virtual nefolositoare.

Rezistența de rupere la compresiune se determină pe cale directă și indirectă pe diferite forme de epruvete, în funcție de natura rocii, conform tabelului XVI.19. Între rezistența de rupere la compresiune determinată pe cale directă σ_c și aceea determinată pe cale indirectă există relația $\sigma_c = k \cdot \sigma_c$, unde k are valorile 0,08 pentru rocile casante și 0,15 – 0,19 pentru rocile cu un comportament ductil. Valoric rezistența de rupere la compresiune monoaxială este situată între limite extrem de largi, adică de la circa 0,1 MPa (roci foarte slab cimentate) pînă la 500 MPa (roci de tipul bazaltelor, granitelor etc.).

Rezistența de rupere la tracțiune monoaxială (σ_t) este definită ca fiind valoarea tensiunii la rupere a epruvetelor de rocă supuse unor solicitări la tracțiune. Deci:

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \qquad (2.11)$$

Încercarea la tracțiune pură se realizează pe epruvete de formă specială (tabelul XVI.20). Metoda prezintă dificultăți în ceea ce privește confecționarea epruvetelor, în sensul că este extrem de pretențioasă și anevoioasă. Totodată, datorită sistemului de prindere a epruvetelor, în punctele de contact rocă-sistem de prindere se nasc eforturi de forfecare care slăbesc epruveta și aceasta se va rupe după plane ce trec prin aceste puncte, afectînd astfel rezultatele încercării la tracțiune pură. În scopuri practice s-au creat metode indirecte de determinare (tabelul XVI.20) a rezistenței la tracțiune. Dintre acestea, uti-

Tabelul XVI.18

Condiții ce trebuie îndeplinite la prelucrarea epruvetelor de rocă pentru încercări

Încercare la compresiune	Încercare la tracțiune simplă	Încercare la forfecare simplă
1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare.	1. Pregătirea epruvetelor este aceeași ca și la compresiune, cu excepția că $\lambda > 2$.	1. Diametrul epruvetei de 42 mm și mai mare
2. Coeficientul de svelțete $\lambda \geqslant 2$. Dacă $\lambda = 1$ atunci echivalentul rezistenței pentru $\lambda = 2$ se obține prin $(\sigma_c)_{\lambda=2}$ $0,9(\sigma_c)_{\lambda=1}$.	2. Epruvetele se vor prinde de platane cu cimenturi de natură epoxi.	2. Coeficientul de svelțete $\lambda \geqslant 2,5$.
3. Planitatea de 0,02 mm, suprafețele perfect șlefuite.	3. Viteza de solicitate 0,1 — 0,5 [MPa/s]	3. Confecționarea epruvetelor în mod asemănător cu cele de la compresiune.
4. Perpendicularitatea suprafețelor pe generatoare cît mai bună, eroare de + 1,0°.	*Observații* În cazul încercării braziliene, epruvetele din punct de vedere geometric se vor prelucra ca și la compresiune. Coeficientul $0,5 \leqslant \lambda \leqslant 1,0$. 4. Numărul minim de epruvete încercate este de 10 sau de preferat mai multe	4. Viteza de solicitare între 0,1 — 1,0 [MPa/s]
5. Viteza de solicitare între 0,1 — 1,0 [MPa/s]		5. Numărul minim de epruvete încercate de minimum 3 și de preferință mai mare.
6. Se vor încerca minimum 10 epruvete pentru o rocă (de preferință mai multe)		

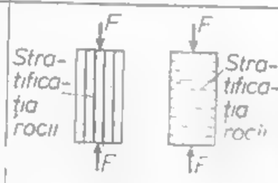
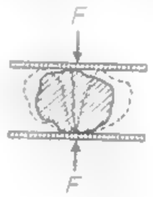
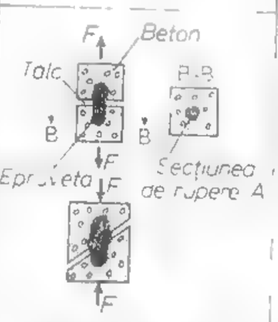
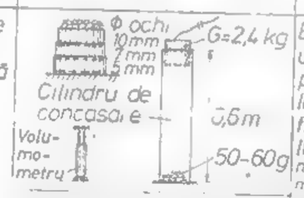
lizată în mod frecvent este *metoda braziliană* sau prin comprimare a epruvetelor în formă de disc respectiv cilindru, după generatoarele lor. Valoric este cea mai mică dintre rezistențele rocii.

Rezistența de rupere la forfecare monoaxială (τ_f) este tensiunea la rupere produsă de solicitarea la forfecare simplă aplicată pe un plan pe care forța normală este nulă, deci:

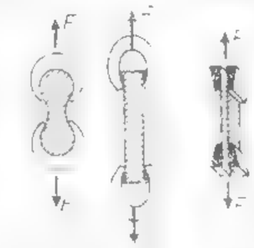
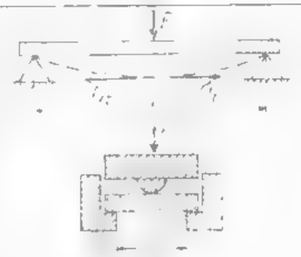
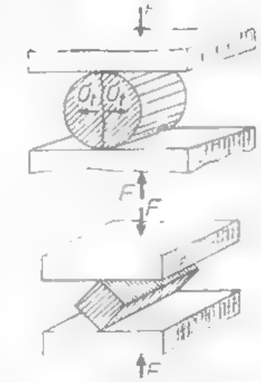
$$\tau_f = \frac{T}{A} \qquad [\mathrm{N/m^2}] \text{ sau } [\mathrm{Pa}] \qquad (2.12)$$

unde T este forța de forfecare necesară producerii ruperii de-a lungul planului considerat. Pentru rocile semistîncoase și stîncoase procedeul cel mai răspîndit este *forfecarea simplă*

Tabelul XVI.19 Metode de determinare a rezistenței la compresiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE A REZISTENȚEI LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ		PRINCIPIUL DE DETERMINARE	CARACTERIZAREA EPRUVETELOR FOLOSITE	RELAȚII DE DETERMINARE A REZISTENȚEI DE RUPERE LA COMPRESIUNE MONOAXIALĂ
Pe epruvete de formă geometrică regulată și neregulată	Pe epruvete de formă geometrică regulată supuse unei solicitări la compresiune		Cuburi, prisme; cilindri; utilizarea frecventă a formelor cu [illegible] dimensiuni $1,5<\lambda\leq 3$	$\sigma_c=\frac{F}{A}$ [N/m²] sau [Pa]
	Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse unei solicitări la compresiune		Forma epruvetei neregulată, cioplită aproximativ sferică, cu un volum de cca 100 cm³ (caz în care efectul de scară nu are influență asupra rezultatelor)	$\sigma'_c=\frac{F}{A}$, unde $A=\sqrt[3]{\frac{\pi}{4}V^2}=0,92\sqrt[3]{V^2}\approx\sqrt[3]{V^2}$ $\sigma'_c=F\left(\frac{1}{V}\right)^{\frac{2}{3}}=F\left(\frac{\gamma_a}{G}\right)^{\frac{2}{3}}$ $\sigma'=F\left(\frac{\gamma_a}{G}\right)^{0,67}$ [N/m²] sau [Pa] G - greutatea epruvetei încercate
	Pe epruvete de formă geometrică neregulată supuse solicitărilor la tracțiune și forfecare, rezultate din care se determină grafo-analitic rezistența de rupere la compresiune		Epruvete de formă neregulată încastrate în calupuri de beton de formă regulată	Se folosesc relațiile înfășurătoarei de tip cicloidal. Rezistența la compresiune este diametrul cercului I rezultat $\sigma_t=\frac{F}{A}$; $\sigma_t=\frac{F}{A}$; $\tau_t=\frac{F}{A}$ A - suprafața determ. prin planimetrare sau metoda cîntăririi
	Pe epruvete de formă geometrică neregulată prin: Concasare dinamică		Epruvetele utilizate sînt probele colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni mai mari de 10 mm și o cantitate de cca. 40-60g)	$f=\frac{20n}{h}$ (n=3 sau 5) h - înălțimea citită pe volumometru corespunzătoare lui n; n - numărul de căderi ale greutății G; $f=\frac{C_g-2}{7,5}$, unde $C_g=92/q$, $q=100\,G_2/G_1$ (%) 92 - efortul specific maxim produs în instalația de sfărîmare-concasare (N/m²); q - cantit procentuală de praf, C_g - coeficient de rezistență
	Concasare statică		Probe colectate din frontul de lucru (cu dimensiuni cuprinse între 5-7 mm)	

Tabelul XVI.20 Metode de determinare a rezistenței de rupere la tracțiune monoaxială

METODA DE DETERMINARE		PROCEDEUL DE DETERMINARE	REPREZENTAREA GRAFICĂ	RELAȚIA DE CALCUL
Pe epruvete de formă geometrică regulată și specială	Încercări prin solicitare a tracțiune	Solicitarea la tracțiune a epruvetelor de formă specială (pe scurt, bare, [illegible])		$\sigma_t=\frac{F}{A}$ [N/m²] sau [Pa] F - forța de solicitare, A - secțiunea transversală a epruvetei
	Încercări prin solicitare la încovoiere	Solicitarea la încovoiere a epruvetelor de formă prismatică, cilindrică, discoidală		$\sigma_t=\frac{3(1+\mu)F}{2\pi h}\left[\frac{1}{1+\mu}+\log_e\frac{r_a}{r_p}-\frac{1-\mu}{1+\mu}\frac{r_p^2}{4r_a^2}\right]$
	Încercări prin solicitare la compresiune	Procedeu brazilian -Compresiunea diametrală a cilindrilor -Compresiunea după diagonală a prismelor		$\sigma_t=\frac{2F}{\pi dh}$ [N/m²] sau [Pa]
Pe epruvete de formă neregulată	Încercarea prin solicitare la tracțiune	Solicitarea la tracțiune		$\sigma_t=\frac{F}{A}$ [N/m²] sau [Pa]

cu ajutorul matrițelor oblice (fig. XVI.25). Procedeul se poate generaliza pentru orice forme de epruvete—regulate și neregulate. Încercarea se realizează la diferite unghiuri, în raport cu direcția de solicitare la compresiune. Relațiile de calcul sînt :

$$\sigma_f = \frac{F}{A} \cdot \sin \alpha$$

$$[N/m^2] \text{ sau } [Pa] \qquad (2.13)$$

$$\tau_f = \frac{F}{d \cdot h} \cos \cdot \alpha$$

În cazul rocilor clastice, a rocilor slab coezive (pamînturi, roci argiloase etc.), determinarea rezistenței la forfecare se realizează prin *procedeul caselelor de forfecare* (fig. XVI.26). Rezistența la forfecare a rocilor se situează între limitele : $\sigma_c > \tau_f > \sigma_t$.

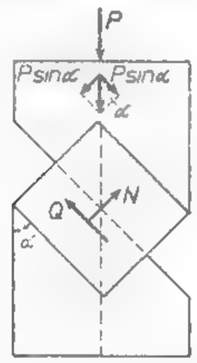


Fig. XVI.25. Matrițe de forfecare.

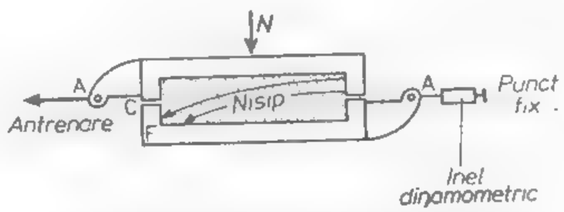


Fig. XVI.26. Casele de forfecare.

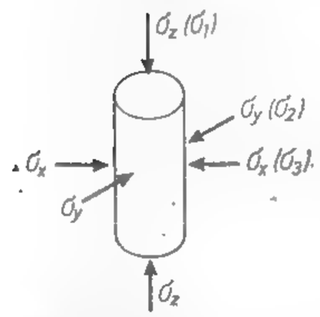


Fig. XVI.27. Definirea solicitării triaxiale.

Rezistența rocilor la încercări poliaxiale. Încercările la solicitări statice poliaxiale sînt de o extremă importanță în stabilirea unui comportament real, heterogen al rocilor. Dintre încercările poliaxiale, importantă pentru domeniul minier este solicitarea triaxială, a cărei definire rezultă din fig. XVI.27. În general, ea poate fi realizată prin diferite tipuri de solicitări : compresiune, tracțiune, forfecare, răsucire etc. Indiferent de tipul de solicitare, încercarea triaxială se poate diferenția în :

- încercare *cubică*, cînd $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ sau $(\sigma_x \neq \sigma_y \neq \sigma_z)$;
- încercare *cilindrică* sau *axial simetrică*, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 \neq \sigma_3$, respectiv $(\sigma_x = \sigma_y \neq \sigma_z)$;
- încercare *izotropă* sau *hidrostatică*, cînd $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, respectiv $(\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z)$.

Echipamentul necesar solicitării este redat schematic în fig. XVI.28. Practic cel mai ușor de realizat este încercarea de tip axial simetric. Epruveta, sub formă cilindrică, cu $\lambda = 2-3$, învelită într-o membrană de cauciuc, este introdusă într-o celulă triaxială (fig. XVI.29). În fluidul ce umple celula se creează o presiune hidrostatică $(\sigma_1 = \sigma_2)$, iar prin intermediul pistonului poate fi aplicată o forță ce creează efortul σ_3. Starea de

tensiune ce solicită epruveta este o rezultantă a (1) tensorului sferic de tensiune $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1 = \sigma_2$ și (2) deviatorului de tensiune $|D_\sigma| = \sigma_3 - \sigma_1$. Încercarea se desfășoară în două etape : prima, în care se aplică tensorul sferic $|T_{\sigma_0}| = \sigma_1$ și a doua etapă, în care se mărește continuu deviatorul $|D_\sigma|$, pînă ce are loc ruperea epruvetei. Elementele ce trebuie măsurate în timpul încercării sînt : deplasările și variațiile de volum ale epruvetei. Dintre tipurile de încercări precizate, tipul cubic oferă însă indiciile cele mai prețioase și reale referitoare la modul de deformare. Asemenea încercări întîmpină însă greutăți în ceea ce privește realizarea unor instalații corespunzătoare.

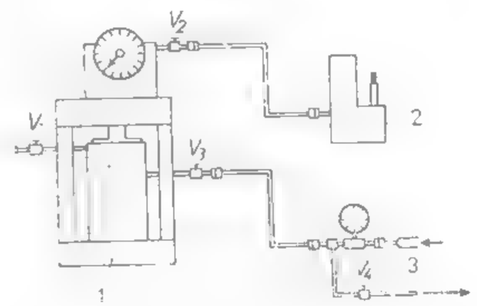


Fig. XVI.28. Echipamentul necesar solicitării triaxiale :

1 — presă hidraulică ; *2*—pompă hidraulică pentru solicitarea axială ; *3*—pompă hidraulică pentru solicitarea laterală.

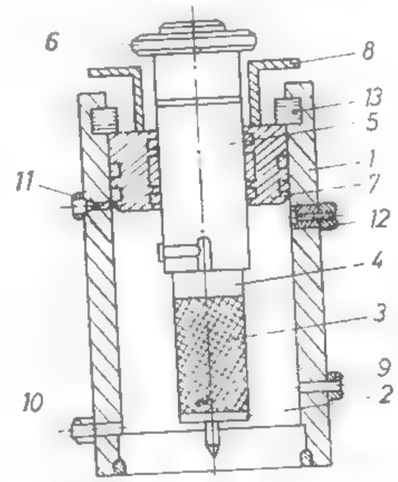


Fig. XVI.29. Celulă triaxială :

1 — cilindru ; *2-4* — suport interior și superior ; *3*—eșantion de rocă ; *5*—piston de solicitare ; *6*—guler pentru deblocare ; *7*—piston pentru etanșare ; *8*—inel ; *9-12*—orificii pentru legarea aparatului cu aparatura de control ; *13*—inel de siguranță.

Coeziunea și unghiul de frecare interioară. Forța de legătură dintre particulele solide ale unei roci și care se opune la acțiunea de desprindere sau de alunecare produsă de solicitări exterioare se numește *coeziunea rocii* și se notează cu c. Ea poate fi reală și aparentă. Are dimensiunile unei tensiuni și se măsoară în N/m^2 sau Pa. *Unghiul de frecare interioară* este unghiul a cărui tangentă trigonometrică reprezintă coeficientul de frecare interioară dintre particulele rocii, adică $\varphi = \operatorname{tg}\varphi$.

Cantitativ, coeziunea și unghiul de frecare interioară se determină experimental printr-o serie de metode. Metodele de determinare s-au diversificat în funcție de tipul solicitării. Astfel, *metoda Mohr* (fig. XVI.30) și *metoda Winkel* utilizează, pentru determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioară, valorile rezistențelor la compresiune și la tracțiune monoaxială (σ_c și σ_t) (fig. XVI.31).

Încercarea la forfecare monoaxială, în baza criteriului de rupere a lui *Coulomb* efectuată la diferite unghiuri de forfecare (pentru roci stîncoase cu utilizarea matrițelor oblice), (fig. XVI.32) sau la diferite forțe normale N (pentru roci argiloase cu utilizarea casetelor orizontale sau verticale de forfecare), (fig. XVI.33) constituie un procedeu de determinare a coeziunii și a unghiului de frecare interioară.

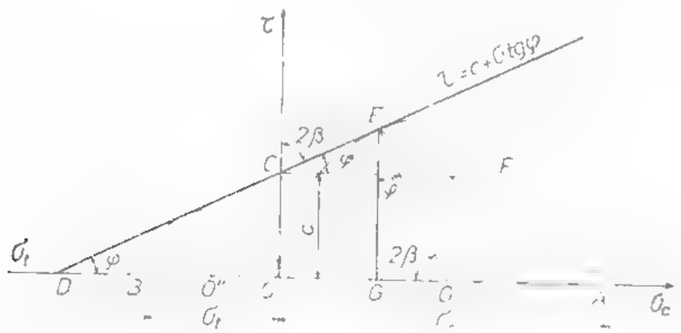


Fig. XVI.30. Metoda Mohr de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

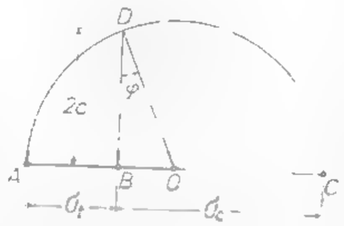


Fig. XVI.31. Metoda Winkel de determinare a coeziunii și unghiului de frecare interioară.

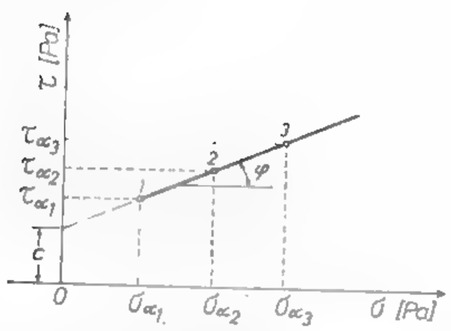


Fig. XVI.32. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare a rocilor stîncoase.

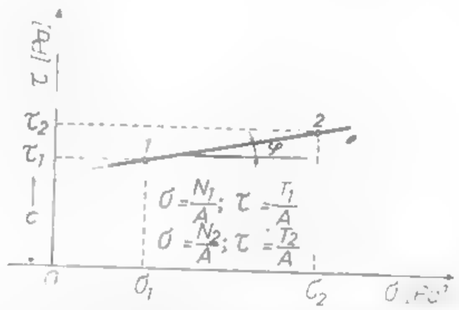


Fig. XVI.33. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin forfecare cu casete (roci moi).

Încercarea triaxială constituie și ea o metodologie de determinare a rezistenței rocilor se finalizează prin determinarea coeziunii și a unghiului de frecare interioara, fie folosind criteriul de rupere *Mohr-Coulumb* (fig. XVI.34), fie utilizînd înfășurătoarea tip cicloidă (fig. XVI.35), fie cea parabolică (fig. XVI.36)

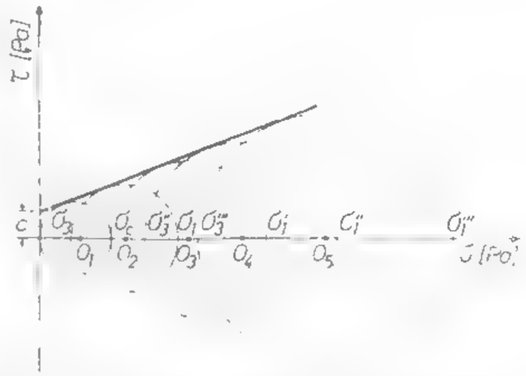


Fig. XVI.34. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară prin încercare triaxială utilizînd criteriul Coulomb-Mohr.

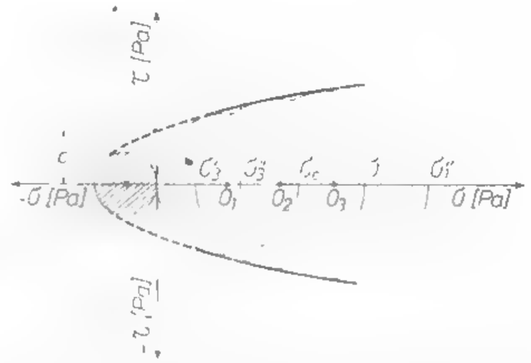


Fig. XVI.35. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizînd cicloida.

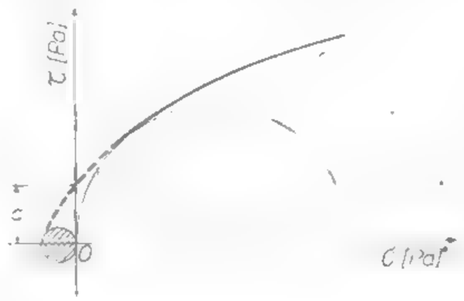


Fig. XVI.36. Determinarea coeziunii și unghiului de frecare interioară utilizînd înfășurătoarea parabolică.

2.4 CARACTERISTICI ELASTICE

Indiferent de tipul rocii, fiecare, în cazul unei solicitări, prezintă un anumit comportament mai mult sau mai puțin elastic. Pentru un astfel de domeniu de solicitare $\sigma < \sigma_e$ (unde σ_e este limita comportamentului elastic), experiența confirmă posibilitatea aplicării legii fizice constitutive corespunzătoare mediilor ideal elastice — *legea lui Hooke*. Deci elasticitatea este o proprietate a rocilor în măsura în care acestea pot fi asimilate cu materialele ideale. Proprietățile ce caracterizează comportamentul elastic al rocilor sînt: curba caracteristică tensiune-deformare (σ — ε); efortul la limita elastică; modulul de elasticitate E; coeficientul (μ) sau constanta lui *Poisson* (m). Aceste caracteristici se pot determina atît prin solicitări statice cît și prin solicitări dinamice.

Curba tensiune deformare constituie o caracteristică experimentală a comportamentului sub sarcină a rocilor, exprimată prin raportul ce există între tensiuni și deformații.

Prin aplicarea unui efort (forță pe unitatea de suprafață) asupra unei epruvete de rocă aceasta se va deforma. Înainte de a analiza comportamentul la deformare a unui

material real (roca), se vor reda cîteva considerente teoretice referitoare la deformarea unui material idealizat sau ipotetic. Comportamentul la deformare rezultă din analiza curbei tensiune-deformare $\sigma - \varepsilon$. Diagrama $\sigma - \varepsilon$ din fig. XVI.37 corespunde unui material perfect elastic, adică acel material care respectă *legea lui Hooke* $\sigma = E \cdot \varepsilon$, unde constanta de proporționalitate E este *modulul lui Young* sau *modulul de elasticitate*. Nici un material real nu este perfect elastic; cu toate acestea, rocile magmatice se apropie de un asemenea comportament.

Modelul mecanic pentru un astfel de comportament este un resort. Un material perfect plastic nu se va deforma dacă efortul ce îl solicită este mai mic decît σ_0. El se va deforma în mod permanent dacă $\sigma = \sigma_0$ și nu va suporta un efort dacă $\sigma > \sigma_0$ (fig. XVI.38 *a*). Modelul mecanic pentru un material perfect plastic este patina (fig. XVI.38, *b*). Un material elasto-plastic este liniar-elastic pînă la o valoare a tensiunii $\sigma \leqslant \sigma_0$ și plastic pentru $\sigma = \sigma_0$ (fig. XVI.38, *c*). Modelul mecanic al unui astfel de comportament este un arc legat în serie cu o patină. Curba tensiune-deformare din fig. XVI.6 (cap. I) reprezintă un material care este liniar-elastic pînă la valoarea tensiunii $\sigma = \sigma_e$ (punctul *b*). Peste acest nivel $\sigma_1 > \sigma_e$ materialul este neelastic, adică deformația nu mai este proporțională cu efortul. Punctul *b* pînă la care deformațiile sînt proporționale cu eforturile, iar în momentul înlăturării efortului deformațiile se anulează sau aproape dispar se numește *punct elastic*, iar tensiunea corespunzătoare se numește *efort la limita elastică* (σ_e).

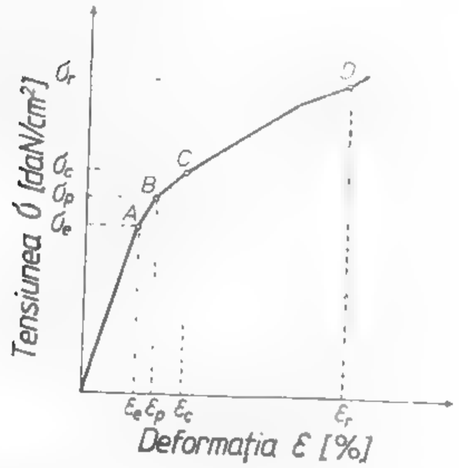


Fig. XVI.37. Curba caracteristică tensiune-deformare.

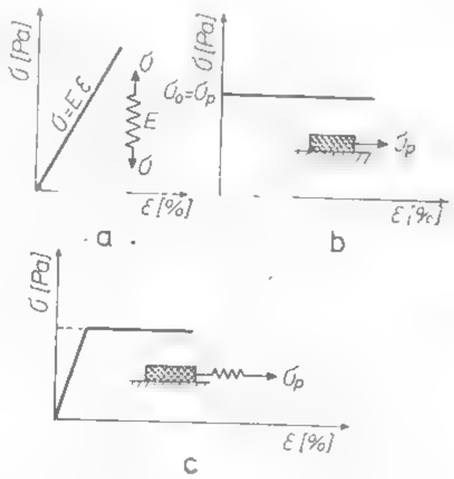


Fig. XVI.38. Comportament de deformare:
a — elastic; *b* — plastic; *c* — elasto plastic.

Experimental și cu totul convențional, astăzi se consideră ca limită elastică efortul unitar normal σ_e(N/m²) pentru care deformația longitudinală remanentă a rocii nu depășește valoarea 0,03% (adică $\varepsilon_{lr} < 0{,}03\%$). În domeniul convențional, stabilit $0 < \varepsilon_{lr} < 0{,}03$ % se consideră că rocile se comportă elastic. Dacă se înlătură o solicitare dată de un efort $\sigma_2 > \sigma_e$ (punctul *c* de pe curbă) și deformația ε nu se anulează sau este apreciabilă, atunci materialul se poate caracteriza printr-o deformație remanentă sau reziduală. Dacă solicitarea este reluată și curba tensiune-deformare este liniară (sau aproximativ

liniară) din b_1 pînă în *d*, punct după care epruveta se va rupe imediat, atunci materialul poate fi încadrat în grupa celor cu comportament la deformare casant (v. fig. XVI.6). Dacă însă efortul de solicitare poate să crească peste σ_3 și materialul va continua să se deformeze neelastic pînă la rupere, atunci asemenea materiale pot fi caracterizate din punctul de vedere al deformării ca și ductile. (v. fig. XVI.6). În funcție de alura curbelor de tensiune-deformare roca poate fi caracterizată din punctul de vedere al comportamentului la deformare (fig. XVI.39).

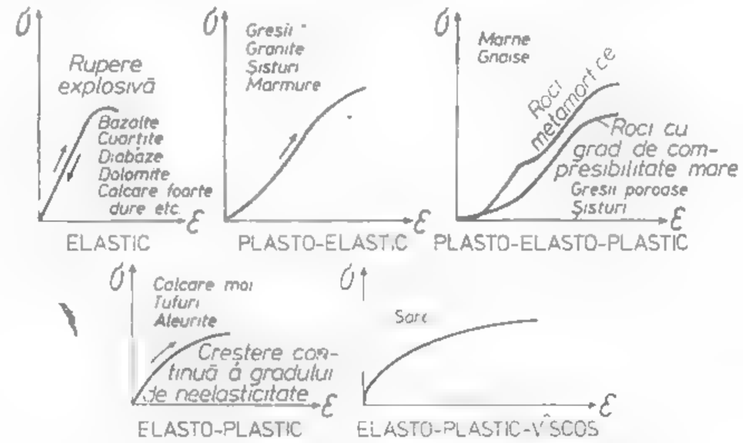


Fig. XVI.39. Tipuri de curbe caracteristice.

Modulul de elasticitate E; **coeficientul** μ **sau constanta** m **a lui Poisson la încercări statice.** Modulul de elasticitate poate fi definit ca modul tangent sau ca modul secant (fig. XVI.40). Valoarea tangentei la curba caracteristică în punctul considerat pe porțiunea delimitată de efortul σ_e se numește *modul de elasticitate tangent* adică

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{m}{n} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad [\mathrm{N/m^2}] \tag{2.14}$$

unde: raportul m/n reprezintă raportul scărilor utilizate la reprezentare. *Modulul de elasticitate secant*, E_s, este definit ca raportul dintre valoarea efortului pînă la limita elastică și deformația corespunzătoare, adică

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\mathrm{N/m^2}] \tag{2.15}$$

(fig. XVI.40). Modulul de elasticitate se poate determina fie prin ridicarea curbei caracteristice, fie prin încărcări și descărcări succesive (fig. XVI.41). Ultima metodă o recomandăm deoarece oferă certitudine și posibilitatea de a determina atît efortul la limita elastică cît și coeficientul sau constanta lui *Poisson*. În cazul acestei metode E și μ (sau m) sînt calculate din măsurarea deformațiilor longitudinale ε_l și a deformațiilor transversale ε_{lr}, cu relațiile (2.14 și 2.15), iar modulul secant

$$E = \frac{\sigma_n - \sigma_{n-1}}{\varepsilon_n - \varepsilon_{n-1}} \tag{2.16}$$

La determinare trebuie respectate următoarele: epruvetă de formă cilindrică cu diametrul minim de 42 mm; coeficientul de zveltețe $\lambda = 2,5$; confecționarea epruvetei în mod asemănător cu aceea prevăzută de încercarea la compresiune (v. tabelul XVI.19); viteza de solicitare de 0,1 – 1,0 MPa · s; încercarea unui număr minim de trei epruvete pentru un tip de rocă. Măsurarea deformațiilor se poate realiza pe cale mecanică, prin

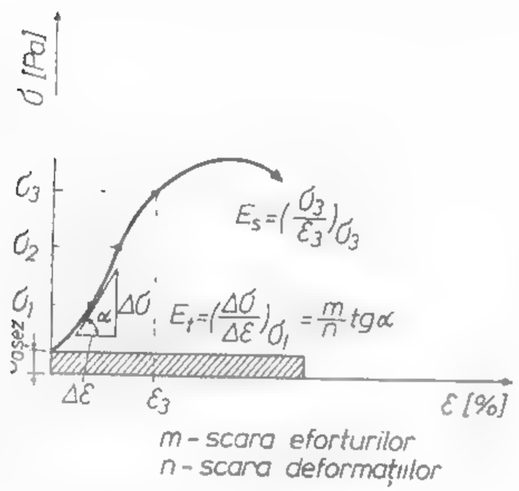


Fig. XVI.40. Definirea modulului de elasticitate.

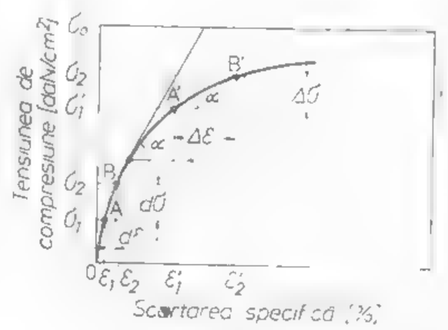


Fig. XVI.41. Determinarea modulului de elasticitate.

utilizarea microcomparatoarelor pe cale tensometrică, prin utilizarea timbrelor tensometrice sau prin amplificare electronică cu prelucrarea datelor și transpunerea lor direct pe calculator, obținînd în final valorile parametrilor elastici. Valorile modulului de elasticitate al rocilor variază între limitele (0,5 – 12) · 10^2 MPa pînă la (0,1 – 0,5) · 10^5 MPa. Valorile cele mai scăzute ale modulului de elasticitate îl au rocile argiloase sau cu componenți argiloși, cărbunii, tufurile poroase, sarea, andezitele puternic alterate etc., iar valorile cele mai ridicate le au rocile de tipul bazaltelor, granitelor, cuarțitelor etc. Domeniul de variație a lui μ sau m este: $0 < \mu \leqslant 0,5$ sau $2 < m \leqslant \infty$. În realitate, pentru domeniul elastic coeficientul lui *Poisson* are valoarea sub 0,2 – 0,2[illegible]

Constantele elastice la solicitări dinamice. Atît în contextul dezvoltării fizicii și al electronicii cît și în baza faptului că rocile se caracterizează prin proprietăți acustice, în ultimul timp s-au creat și dezvoltat metode de determinare a caracteristicilor elastice bazate pe viteza de propagare a undelor elastice. Procedeele utilizate sînt redate în tabelul XVI.21. Toate aceste procedee determină constantele elastice în mod indirect, prin măsurarea vitezelor longitudinală și transversală de propagare a undelor elastice. Cantitativ rezultă că

$$E_{din} = \gamma_a(p; n) \cdot f(\mu_d) \cdot V_l^2 \quad [N/m^2] \qquad (2.17)$$

Tabelul XVI.21

Metode nedistructive de determinare a caracteristicilor mecanice-elastice

Grupa de metode	Metoda	Procedeul	Utilizare
Acustice	Vibrației	vibrații longitudinale vibrații transversale vibrații prin torsiune	Determinarea caracteristicilor elastice
	Impulsului	undelor longitudinale undelor transversale undelor acustice complexe	Determinarea rezistențelor mecanice, a caracteristicilor elastice E_d, μ_d sau m_d

unde: $\gamma_a(p; n)$ – greutatea specifică aparentă a rocii ca funcție de compoziția mineralogică (p) și de porozitatea (n); $f(\mu_d)$ – o funcție ce depinde de coeficientul dinamic al lui *Poisson* (μ_d)

$$f(\mu_d) = \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{1 - \mu_d}, \qquad (2.18)$$

unde

$$\mu_d = \frac{1 - 2n^2}{2(1 - n)}; \qquad n = \frac{V_t}{V_l} \qquad (2.19)$$

și deci

$$E_d = \frac{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_d)}{1 - \mu_d} \gamma_a V_l^2 \qquad (2.20)$$

sau

$$E_d = 2(1 + \mu_d)\gamma_a V_t^2 \qquad (2.21)$$

Experimental, se determină perioadele pasului și se calculează direct utilizînd modulul [illegible] cu ajutorul cărora se măsoară timpul necesar [illegible] pentru ca unda să parcurgă lungimea [illegible] viteza de propagare poate fi determinată din relația

$$V_l = \frac{l}{t_l} \quad [m/s] \qquad (2.22)$$

și modulul de elasticitate prin relația

$$E_d = V_l^2 \frac{\gamma_a}{g} \quad [N/m^2] \qquad (2.23)$$

Pentru realizarea încercărilor trebuie respectate următoarele condiții

- lungimea epruvetei să fie $l = 2,5$ cm și mai mare de cel puțin 2 ori diametrul ei;
  diametrul epruvetei să fie $d = 2,5$ cm;
  confecționarea și rectificarea epruvetelor să se realizeze ca și în cazul compresiunii (tabelul II.17);
  impulsul trebuie să aibă o lungime de undă mai mică decît (1—5) ori dimensiunea laterală a epruvetei;
- pentru o rocă este necesară una sau mai multe încercări.

Aparatura de solicitare poate fi monoaxială sau triaxială. Constantele elastice se pot determina și *in situ*, prin încercări seismice. Impulsurile seismice sînt create în masiv prin impact mecanic sau prin intermediul explozivilor.

2.5. CARACTERISTICI REOLOGICE

Reologia studiază deformarea materialelor și implicit a rocilor sub efectul eforturilor ce le sînt aplicate, ținînd cont de variația acestea în timp. Importanța hotărîtoare a cercetărilor mecanicii rocilor în domeniul tehnico-minier se realizează pe deplin numai prin abordarea reologică a masivului de rocă. Astăzi în reologie se disting două direcții mari de cercetare: (1) reologia liniară; (2) reologia neliniară. Indiferent de direcția de cercetare, reologic, o rocă poate fi studiată fie sub aspectul fenomenului de fluaj

$$f(\sigma_0, t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} \tag{2.24}$$

adică deformare continuă sub sarcină constantă, sau de relaxare

$$r(\varepsilon_0, t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \tag{2.25}$$

adică scăderea continuă a eforturilor pentru o deformare constantă. Fenomenele de fluaj sau relaxare se pot reprezenta prin funcții simetrice și ca urmare, cunoașterea parametrilor de fluaj creează posibilitatea caracterizării rocii și ca relaxare, deci reologic. Pe baza diferitelor date experimentale s-a reușit redarea unei curbe teoretice de fluaj sau deformare în timp (fig. XVI.42) și care analitic corespunde expresiei generale de forma

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1(t) + \dot{\varepsilon} \cdot t + \varepsilon_3(t) \tag{2.26}$$

unde: ε_0 este deformația elastică instantanee,

$\varepsilon(t)$ — fluajul primar sau tranzitoriu (domeniu I de deformare),

$\dot{\varepsilon} \cdot t$ — fluajul permanent, secundar sau stabil (domeniul II de deformare);

$\varepsilon_3(t)$ — fluajul terțiar sau accelerat (domeniul III de deformare).

Pentru a facilita studiul comportamentului de deformare în timp, s-a recurs la utilizarea unor scheme în comportare simple ușor extprimabile în limbaj matematic (modelare analogică), denumite *modele mecanice simple* (tabelul XVI.22). Comporta-

mentul reologic liniar al rocilor poate fi redat prin considerarea diferitelor combinații (tip serie, paralel sau mixt) ale modelelor simple.

Rezolvarea unor probleme ca cele legate de stabilitatea lucrărilor miniere la zi și subteran precum și a regimului de presiuni în minieră în contextul interacțiunii cu substi

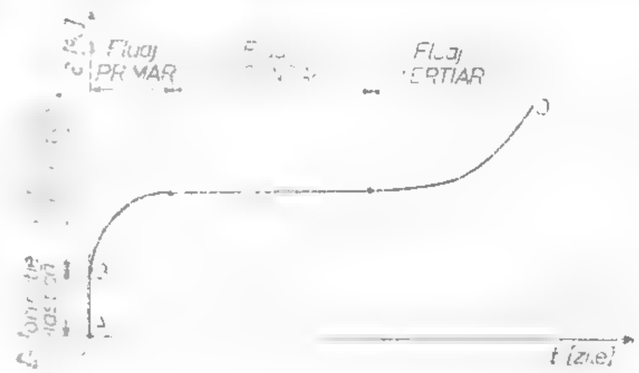


Fig. XVI.42. Curba teoretică de fluaj.

Tabelul XVI.22 Modele mecanice simple utilizate în reologia rocilor

CORPUL	MODELUL REOLOGIC	ECUAȚIA MODELULUI
ELASTOVISCOS Maxwell M-H	E_1, η_1, σ	
RIGID-VISCOS (Kelvin) K-H	E_2, η_2, σ	
VISCO-ELASTIC (Burger) S-M-K	E_1, η_1, E_2, η_2	

nerea reclamă necesitatea utilizării modelelor neliniare (fig. XVI.43). Asemenea model prezintă dificultăți mari în calculul lor și care se redu[illegible] utilizarii [illegible] și a metodelor numerice de integrare.

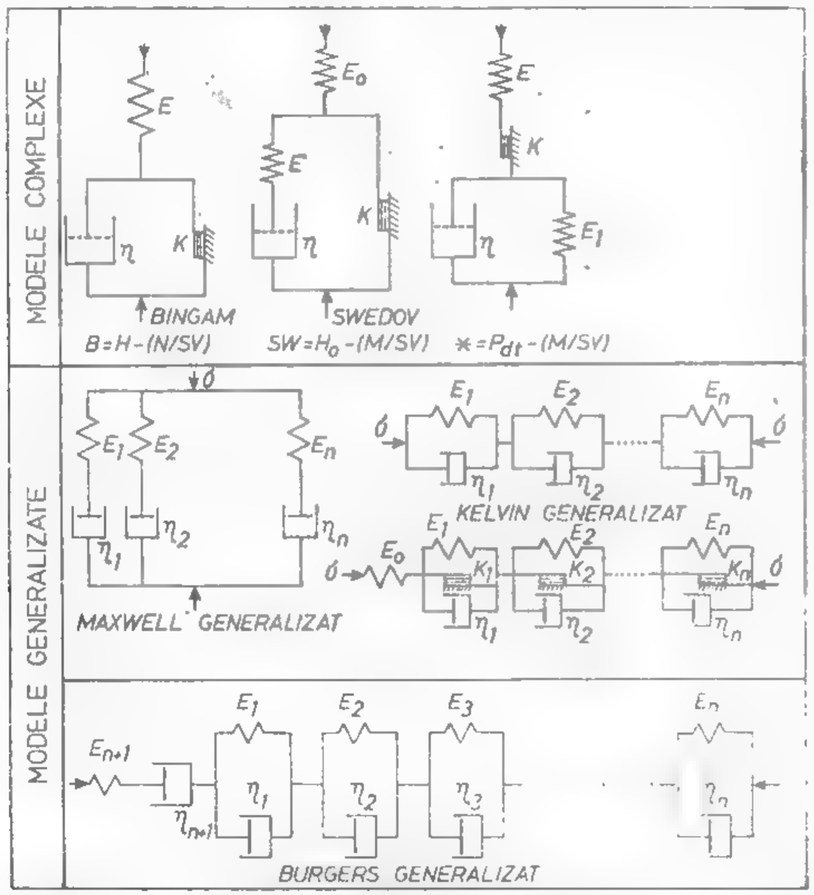


Fig. XVI.43. Modele neliniare reologice.

Caracterizarea reologică a unei roci sau substanțe minerale util[illegible] determinarea curbei caracteristice de fluaj și relaxare, iar funcție de comportament se stabilesc pearametrii reologici corespunzători: modulul de elasticitate reologic; coeficientul de viscozitate; parametrii plastici de comportare; timpul de inițiere T_{int}; timpul de relaxare T_{rel} gradul de solicitare $\Delta = \frac{\sigma_e}{\sigma_r}$; viteza de deformare ε; corelația di[illegible] viteza de deformare și gradul de solicitare (fig. XVI.44) cu[illegible]

Studierea comportamentului reologic al rocilor se poate realiza p[illegible] și *în situ*. În laborator solicitarea în timp se realizează cu ajutorul instalațiilor de tip hidraulic, (fig. XVI.45) sau mecanic (fig. XVI.46), folosind epruvete de rocă pregătit[illegible] în conformitate cu solicitarea realizată: compresiune, tracțiune sau forfecare (tabelul XVI.18).

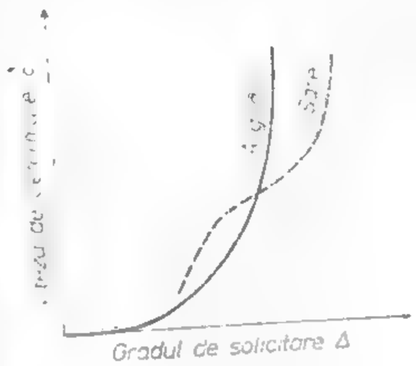


Fig. XVI.44. Corelația dintre viteza de deformare și gradul de solicitare.

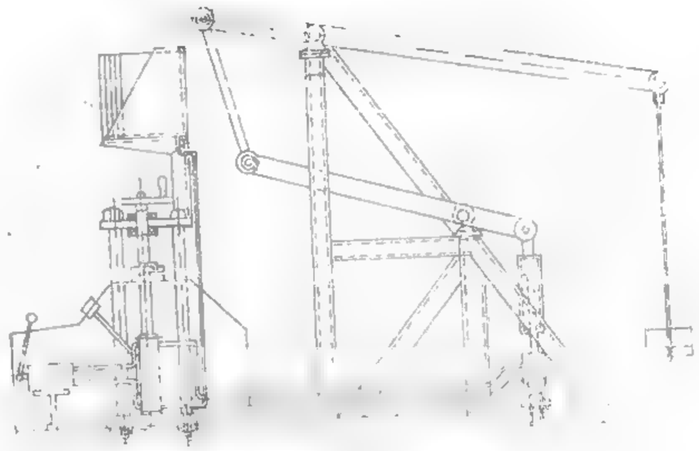


Fig. XVI.45. Instalație hidraulică pentru încercări reologice.

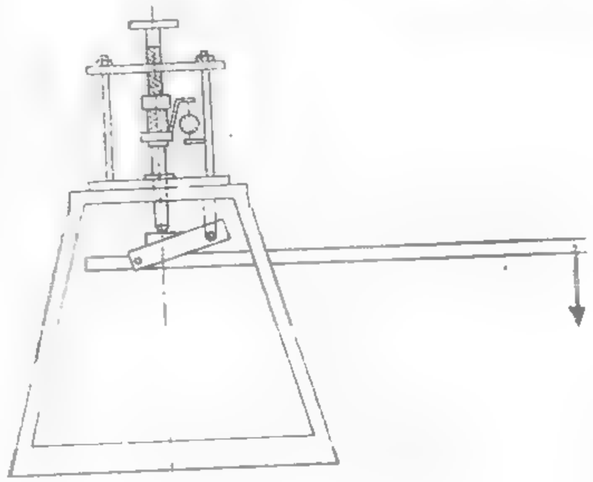


Fig. XVI.46. Instalație mecanică pentru încercări reologice.

3. STABILITATEA EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Prin noțiunea de stabilitate se înțelege o asemenea stare a sistemului care menține un echilibru stabil al acestuia, cu păstrarea secțiunii de lucru pe durata de existență proiectată. Evaluarea stabilității se efectuează pe baza calculului stării de tensiune a rocilor înainte și după executarea excavației subterane, prin stabilirea mărimii [illegible] care acționează asupra excavației subterane.

3.1. STAREA DE TENSIUNE A MASIVULUI DE ROCI NEDERANJATE PRIN EXCAVAȚII

Masele de roci din scoarța terestră sînt supuse forțelor gravitaționale, [illegible] endogene și forțelor exogene.

În cazul unui masiv, făcînd abstracție de forțele endogene și cele exogene, forța exterioară care acționează asupra unei particule elementare este chiar greutatea proprie a masivului aferent particulei elementare și care creează asupra acesteia o stare de tensiune denumită *presiune litostatică*. Această presiune se datorează forței gravitaționale care acționează după direcția verticalei locului și spre centrul Pămîntului. Datorită acestei forțe, o particulă elementară aflată la o adîncime (H) în scoarța terestră va fi supusă unor tensiuni verticale și unor tensiuni laterale.

În ceea ce privește *tensiunile verticale* (fig. XVI.47) este acceptată ipoteza că *indiferent de nivelul la care ne referim, acestea sînt proporționale cu adîncimea la care se studiază*. Adică:

$$\sigma_z = \gamma_n \cdot H \qquad (3.1)$$

Mărimea tensiunilor laterale depinde de starea fizică în care se găsește masivul studiat, existînd mai multe ipoteze.

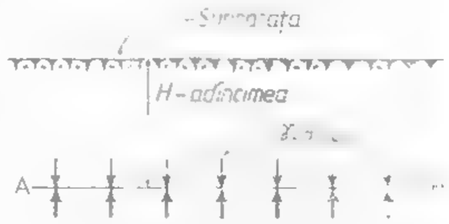


Fig. XVI.47. Ilustrarea tensiunilor verticale.

3.1.1. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

P. Kühn consideră că într-un mediu elastic omogen și izotrop, pentru o particulă elementară, un cub cu latura unitară, care se găsește la adîncimea H (fig. XVI.48) va fi supus la compresiune de către greutatea stîlpului de rocă pe această adîncime, avînd secțiunea transversală unitară.

Punînd condiția la limită, se ajunge la [illegible]

$$\frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\mu \sigma_z}{E} = 0$$

de unde:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \sigma_z = \xi \sigma_z \qquad (3.2)$$

Dacă direcțiile axelor z, y și x coincid cu direcțiile axelor principale, tensiunile σ_z, σ_y și σ_x vor deveni tensiuni principale, iar relația (3.2) devine

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\mu}{1-\mu} \cdot \sigma_1 = \xi \sigma_1 \qquad (3.3)$$

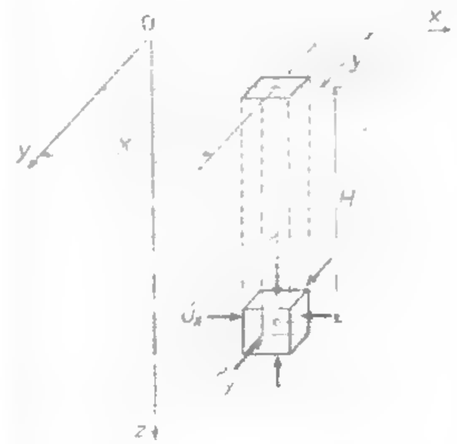


Fig. XVI.48. Starea de tensiune asupra unei particule elementare în ipoteza lui P. Kuhn.

Tab. XVI.23

Variația tensiunilor laterale în funcție de valoarea lui μ

μ	$\sigma_x = \sigma_y$
0	$\sigma_x = 0$
0,1	$\sigma_x = 0,11\ \sigma_z$
0,2	$\sigma_x = 0,25\ \sigma_z$
0,3	$\sigma_x = 0,43\ \sigma_z$
0,4	$\sigma_x = 0,66\ \sigma_z$
0,5	$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$

Pentru a avea tensiunile tangențiale maxime, P. Kühn stabilește relația

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_z}{2} \cdot \frac{1-2\mu}{1-\mu} \qquad (3.4)$$

După modul de comportare al rocilor — în funcție de valoarea lui μ, [illegible] tensiunile laterale variază conform tabelului XVI.23.

Deci se poate rezultă că presiune litostatică diferă ca mărime de presiunea hidrostatică. Numai în cazul stării lichide a rocilor, atunci cînd avem de a face cu roci curgătoare, presiunea litostatică are aceeași mărime ca presiunea hidrostatică. În acest caz $\mu = 0{,}5$ și deci: $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma_a H$.

K. Fenner exprimă starea de tensiune pentru un mediu elastic omogen și izotrop în coordonate polare, ajungînd la expresiile:

$$\sigma_r = \frac{p}{2(m-1)}\left[m + (m-2)\cos 2\theta\right]$$

$$\sigma_\theta = \frac{p}{2(m-1)}\left[m - (m-2)\cos 2\theta\right],$$

$$\tau_{r\theta} = -\frac{p(m-2)}{2(m-1)} \cdot \sin 2\theta$$

Problema tratată aici va fi dezvoltată în cele ce urmează.

3.1.2. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT ELASTIC

Pentru cazul unei roci lipsite de coeziune, sau pentru o rocă care în fază inițială are un comportament elastic dar datorită valorii tensiunilor care depășesc rezistența acesteia la forfecare se va sfărîma, echilibrul între tensiuni se stabilește plecînd de la relația:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$$

Considerînd coeziunea nulă, se ajunge la

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\,\sigma_z \qquad (3.6)$$

Deci starea de tensiune este exprimată prin [illegible]

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}\,\sigma_z \qquad (3.7)$$

Un exemplu de rocă în stare perfect elastică este nisipul curat și uscat.

În funcție de forma și dimensiunile particulelor de nisip, unghiul de frecare interioară a acestuia variază de la 30—45°, iar tensiunile laterale au valorile conform tabelului XVI.24.

Tabelul XVI.24

Valoarea tensiunilor laterale în funcție de φ

φ	$\sigma_x = \sigma_y$
30	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}33\ \sigma_z$
35	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}27\ \sigma_z$
40	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}22\ \sigma_z$
45	$\sigma_x = \sigma_y = 0{,}17\ \sigma_z$

Substanțele casante, fărîmițate, cum ar fi rocile fărîmițate datorită unor presiuni excesive, pot fi considerate ca roci elastice, cu condiția să nu mai posede coeziune.

3.1.3. STAREA DE TENSIUNE PENTRU UN MASIV CU COMPORTAMENT PLASTIC

Rocile sau substanțele minerale utile, care după forfecare mai posedă o anumită coeziune, se găsesc în stare plastică. Coeziunea existentă în rocă reduce valoarea tensiunilor laterale create de tensiunea verticală și, în acest caz, relația între tensiuni are forma:

$$\sigma_x = \sigma_y = i\sigma_z - 2\,i\,c\,\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi} \qquad (3.8)$$

Substanțele sau rocile tipice care se află în stare plastică sînt argila și nisipul care conține o cantitate apreciabilă de argilă sau nămol.

Pentru starea plastică se amintește și *ipoteza lui Țimbarevici*, care se bazează pe observațiile lui *Kühn* și pe condiția de plasticitate, care determină limita de curgere din expresia deja cunoscută:

$$\sigma_z - \sigma_x = K_f$$

și

$$\sigma_x = \frac{\mu}{1-\mu}\,\gamma_a \cdot H$$

de unde:

$$H = \frac{K_f}{\gamma_a} \cdot \frac{1-\mu}{1-2\mu} \qquad (3.9)$$

Această relație, dedusă de *Țimbarevici*, stabilește adîncimea, H, de la care, în jos, rocile trec din stare elastică în stare plastică.

Cunoașterea adîncimii limită a zonei elastice are o importanță deosebită deoarece trecînd în domeniul deformațiilor plastice, se ridică o serie de probleme legate de creșterea presiunii și susținerea lucrărilor miniere cu susțineri adecvate. Pentru condițiile Văii Jiului adîncimile limite ale zonei elastice pentru diferite roci și după diverși autori sînt redate în tabelul XVI.25.

Tabelul XVI.25

Adîncimea limită a zonei elastice pentru cîteva roci din Valea Jiului

Autorul	Formula autorului	Adîncimea limită a zonei elastice [m]		Adîncimea limită a zonei elastice [m]		
		Valoare rezultată din calcul	Valoare medie	Argile	Marne și gresii slabe	Gresii dure
		$\xi = 0{,}227$	$\varsigma = 0{,}75$	$\sigma_c = 180$	$\sigma_c = 450$	$\sigma_c = 650$
A. M. Ljamin	$h_e = \frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	[illegible]	655	490	1170	1650
V. D. Slesarev	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	[illegible]	720	1750	2400
H. Labasse	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990		720	1750	2400
F. A. Belaenko	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a(1-\xi)}$	260	510	340	450	680
K. V. Ruppeneit	$h_e = \frac{\sigma_c}{2\xi\gamma_a}$	2160	655	490	1170	1650
J. Bealer	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a M}$	2160	655	490	1170	1650
R. Cvapil	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a \cdot M_1}$	[illegible]		240	1400	2400
E. T. Procavkin	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990		720	1750	2400
[illegible]	$h_e = \frac{\sigma_c}{\gamma_a}$	990	—	20	1750	2400

σ_c este rezistența la compresiune; σ_e — limita elastică; $\xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ — coeficientul împingeri laterale; M — coeficient ce depinde de mărimile constante care caracterizează roca (pentru roci stabile de tărie medie $M = 1{,}3 \div 2$); M_1 — coeficient care depinde de proprietățile rocii; pentru roci care au $f = 2$, $M_1 = 3$; pentru roci care au $f = 2$, $M = 1{,}25$; γ_a — greutatea specifică aparentă.

3.1.4 STAREA DE TENSIUNE ÎNTR-UN MASIV CU COMPORTAMENT NEELASTIC

Dacă se consideră masivul de rocă ca avînd un comportament vîscoelastic, elasto-viscos sau elasto-vîsco-plastic, în relațiile care definesc starea de tensiune va interveni un nou parametru — *timpul*. În cazul cel mai general componenta verticală rămîne neschimbată, adică $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$. În ce privește componenta orizontală, aceasta se modifică în funcție de comportamentul masivului. Astfel, în cazul unui masiv omogen, neelastic de tip *Kelwin*, componenta orizontală se modifică prin modificarea coeficientului împingerii laterale ξ în ξ_k astfel:

$$\xi_k = \frac{\mu}{1-\mu}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \text{ unde } \tau = \frac{\eta_k}{E_k}$$

Astfel, starea de tensiune va avea forma:

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_k \cdot \sigma_z = \frac{\mu}{1-\mu}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \cdot \sigma_z$$

Cînd $t = 0$, $\xi_k = 0$ și $\sigma_x = \sigma_y = 0$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Cînd $t = \infty$, $\xi_k = \xi = \frac{\mu}{1-\mu}$ și $\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu}\sigma_z$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Deci, în cazul unui masiv cu un comportament neelastic de tip *Kelwin*, tensiunile orizontale se modifică crescînd, odată cu timpul ($t = 0$ și $t = \infty$), de la un masiv cu comportament perfect elastic, la un masiv a cărui elasticitate depinde de valoarea coeficientului lui *Poisson*.

În cazul unui masiv cu un comportament de tip *Maxwell*, se modifică, de asemenea componenta orizontală ξ în ξ_M astfel:

$$\xi_M = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \text{ în care } \tau = \frac{\eta_M}{E_M} \text{ și deci:}$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \xi_M \cdot \sigma_z = \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)\sigma_z \text{ și } \sigma_z = \gamma_a \cdot H$$

Cînd $t = 0$, $\sigma_x = \sigma_y = 0$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Cînd $t = \infty$; $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$; $\sigma_z = \gamma_a \cdot H$

Și în acest caz se constată că tensiunile orizontale se modifică în timp de la un comportament perfect elastic, la un comportament plastic spre curgător.

3.1.5. STAREA DE TENSIUNE DE ORIGINE TECTONICĂ

Existența stării de tensiune de natura tectonica sau reziduală este semnalata de unele anomalii care se produc în excavațiile subterane prin deformații foarte mari care modifică mult componentele laterale. Această modificare importantă a componentelor laterale se poate datora fie eforturilor laterale de compresiune create de acțiunea forțelor tectonice, fie că ea este rezultatul unei stări reziduale sau ereditare de tensiune în

timpul cînd masivul nu a suferit anume fenomene de eroziune. Aceste fenomene singulare sau cumulate pot crea o stare de tensiune care depășește valoarea tensiunilor gravitaționale.

S-a văzut anterior că:

$$\xi = \frac{\mu}{1-\mu} \text{ unde: } \mu = 0 \div 0{,}5 \text{ și deci } \xi = 0 \div 1$$

Rezultă de aici că dacă se ia în considerare numai starea de tensiune de origine gravitațională, tensiunile laterale nu pot depăși ca valoare tensiunile verticale. Însă, deși am semnalat, în unele puncte ale scoarței terestre au fost măsurate tensiuni de valori $\sigma_x = (0{,}6 \div 8)\,\sigma_y$.

Din punct de vedere [illegible], elucidarea acestor fenomene are încă semne de [illegible]

Admițînd [illegible] starea de tensiune de origine gravitațională creează tensiunile σ_x, σ_y, σ_z, iar starea de tensiune de natură tectonică sau reziduală creează o stare de tensiuni σ''_x, σ''_y și σ''_z, atunci starea naturală totală de tensiuni va fi:

$$\sigma_x = \sigma'_x + \sigma''_x;\ \sigma_y = \sigma'_y + \sigma''_y \text{ și } \sigma_z = \sigma'_z + \sigma''_z$$

Datorită cunoașterii insuficiente a fenomenelor tratate mai sus, în practica curentă a dedusului stare de tensiune, majoritatea cercetătorilor iau în considerare numai tensiunile de natură tectonică.

3.2. REPARTIZAREA TENSIUNILOR ÎN ROCILE DIN JURUL EXCAVAȚIILOR SUBTERANE

Dacă în interiorul unui masiv oarecare, care are o stare de tensiune bine definită, vom executa o excavație de orice natură, starea de tensiune inițială se modifică creîndu-se o redistribuire a tensiunilor.

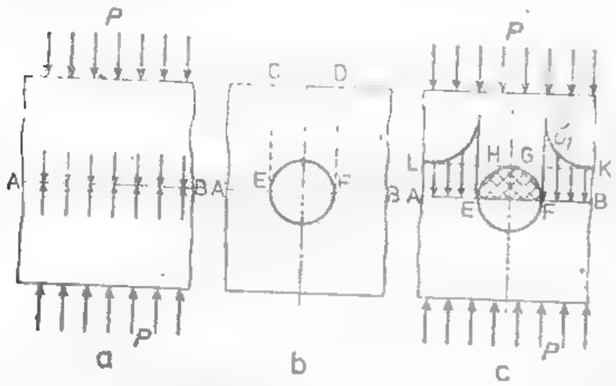


Fig. XVI.49. Concentrarea de tensiuni pe periferia unui orificiu circular:

a – placă intactă; *b* – placă în care a fost executat un orificiu circular; *c* – modul de concentrare a tensiunilor în jurul orificiului.

Pentru a explica modul de redistribuire a tensiunilor, se consideră o placă (fig. XVI.49) solicitată cu o forță oarecare P.

Dacă în placă nu se execută nici un orificiu, atunci în orice plan normal față de P (planul AB) mărimea solicitării este aceeași (fig. XVI.49, *a*).

Dacă însă se execută un orificiu în această placă, sarcina dată de blocul $CDEF$ nu poate fi transmisă prin orificiu și, în acest caz, ea va fi redistribuită în jurul orificiului, creîndu-se concentrări de tensiuni, care ating valoarea maximă la capetele

diametrului orizontal, valoare care descrește pe măsură ce ne îndepărtăm de orificiu (fig. XVI.49, *c*). Fenomenul fiind similar și pentru excavațiile subterane, concentrarea de tensiuni poate să provoace fisuri și căderi de blocuri în lucrarea minieră.

Studiul tensiunilor în excavațiile miniere se realizează prin mai multe procedee și anume:

- studii și cercetări teoretice;
- studii prin metoda materialelor echivalente;
- studii prin fotoelasticimetrie;
- studii prin metode combinate.

3.2.1. STUDII ȘI CERCETĂRI TEORETICE CLASICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR

3.2.1.1. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii elastice omogene și izotrope

Unele roci, respectiv substanțe minerale utile, care se găsesc la anumite adîncimi în scoarța terestră pot fi considerate ca avînd un comportament elastic. Făcînd această presupunere, rezultatele obținute pot fi generalizate prin teoriile deja cunoscute.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale. Studiile matematice se bazează pe anumite relații deja stabilite, atît în cadrul teoriei elasticității, cît și la formațiunile de roci neatacate prin lucrările miniere.

Dacă se consideră o particulă materială aflată la o distanță r de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.50) și în centrul axelor o lucrare minieră circulară de rază a, se observă că *relațiile lui Fenner* (3.5) sînt date pentru cazul cînd r are valori mari, adică particula studiată este foarte departe de lucrarea minieră.

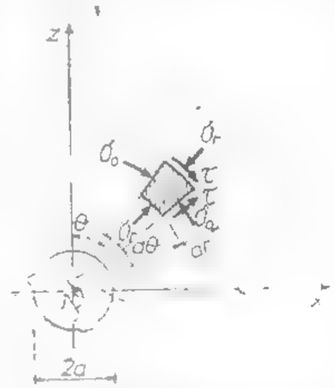


Fig. XVI.50. Starea de tensiune asupra unei particule exprimate în coordonate polare.

Pentru cazul cînd $r = a$ relațiile vor deveni:

$$\sigma_r = \frac{P}{2}\cdot\frac{m}{m-1}\cdot\frac{r^2-a^2}{r^2} + \frac{P}{2}\cdot\frac{m-2}{m-1}\left[1-\frac{4a^2}{r^2}+\frac{3a^4}{r^4}\right]\cos 2\theta;$$

$$\sigma_\theta = \frac{P}{2}\cdot\frac{m}{m-1}\cdot\frac{r^2+a^2}{r^2} - \frac{P}{2}\cdot\frac{m-2}{m-1}\left[1+\frac{3a^4}{r^4}\right]\cos 2\theta;$$

$$\tau = \frac{P}{2}\cdot\frac{m-2}{m-1}\left[-1-\frac{2a^2}{r^2}+\frac{3a^4}{r^4}\right]\sin 2\theta \qquad (3.10)$$

Aceste relații corespund întrului total relațiilor (3.9) pentru $n = \infty$ adică pentru cazul unei roci perfect elastice.

Tensiunile principale σ_{max} și σ_{min}, cum și τ_{max} pot fi calculate cu următoarele relații:

$$\sigma_{max}^{min} = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + 4\tau_{r\theta}^2}, \qquad (3.11)$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + 4\tau_{r\theta}^2}.$$

Dacă se reprezintă grafic pe rețele cu aceleași valori ale tensiunilor principale σ_{max} și σ_{min} se obțin pentru $n = \infty$ și valorile lui $\varphi = 0 \div 360°$, izocurbele din fig. XVI.51.

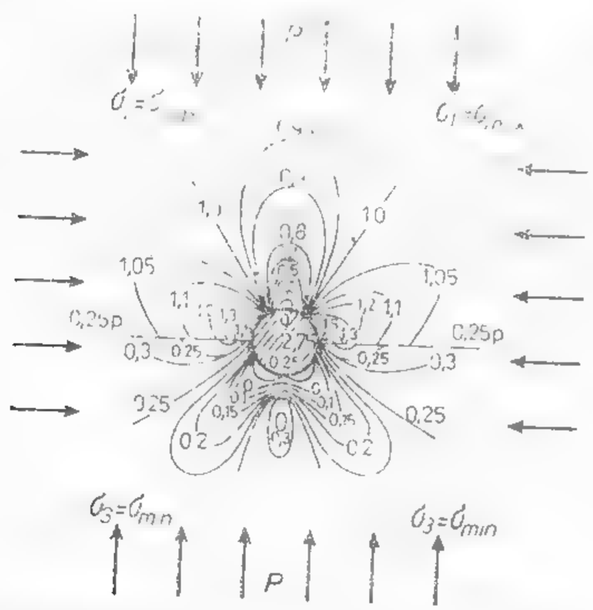


Fig. XVI.51. Izocurbele tensiunilor principale maxime și minime în jurul unei galerii circulare (după P. Kuhn).

Cifrele din dreptul izocurbelor indică valorile coeficientului de concentrare K al tensiunilor, adică mărimea tensiunii în punctul dat după executarea lucrării minere în comparație cu tensiunea din același punct, înainte de executarea lucrării respective.

Dacă ar exista tensiunile $\sigma_1 = \sigma_{max}$ și $\sigma_3 = \sigma_{min}$ în ambele jumătăți ale galeriei, aceste două tensiuni s ar suprapune creînd la intersecția lor valori maxime a tensiunilor de forfecare.

Aceste tensiuni de forfecare provoacă o fisurare pronunțată a rocilor, fisurare care se poate extinde la distanțe mari atît în pereți cît și în tavan și vatră.

Mărimea acestor tensiuni este dată de relația

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}. \qquad (3.12)$$

Conform acestei relații, pot fi studiate mai multe cazuri (fig. XVI.52).

După cum se observă, tensiunile maxime de forfecare au loc pe planuri care produc un unghi de 45° cu direcția tensiunii principale. Dacă se consideră o lucrare minieră cir-

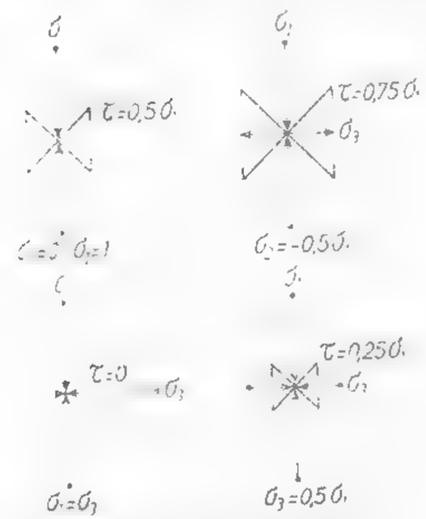


Fig. XVI.52. Variația tensiunilor de forfecare funcție de tensiunile normale.

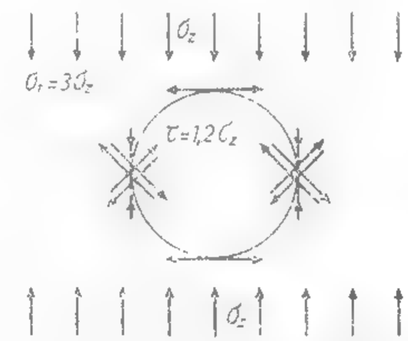


Fig. XVI.53. Formarea tensiunilor de forfecare în jurul unei galerii circulare.

lară cu un coeficient de concentrare a tensiunilor $K = 3\gamma_a \cdot H$, și știind că pe periferia galeriei una din tensiunile principale este egală cu zero, se obține tensiunea maximă de forfecare în punctele în care tensiunea de compresiune este maximă (fig. XVI.53). Pentru evita formarea tensiunilor de forfecare, este necesar să se realizeze o reacțiune $\sigma_3 = \sigma_1$. În acest caz $\tau_{max} = 0$.

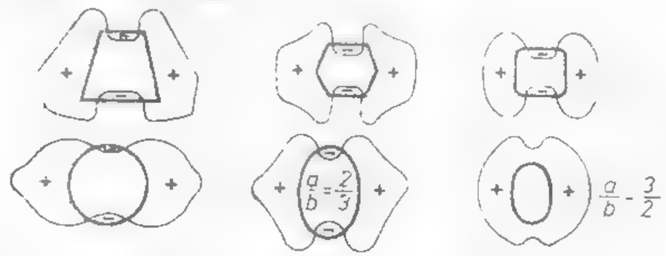


Fig. XVI.54. Repartizarea tensiunilor în jurul lucrărilor miniere orizontale de diferite forme.

Studii similare referitoare la modul de repartizare a tensiunilor pot fi realizate și pentru alte forme geometrice ale secțiunilor transversale, aici redînd numai reprezentările grafice ale repartizării tensiunilor (fig. XVI.54).

Timbarevici a sintetizat valorile coeficientilor de concentrare a tensiunilor principale pe latura superioară și inferioară a lucrării considerate precum și pe mijlocul pereților lucrării rezultînd datele din tabelul XVI.26.

Tabelul XVI.26

Valorile coeficienților de concentrare a tensiunilor prin țipăle pe latura superioară, inferioară și pe mijlocul pereților

Forma secțiunii transversale		Circulară	Eliptică	Dreptunghiulară					
Raportul dintre înălțime și lățime a/b				1:1	2:1	3:1	Pătrată	1:3	1:5	1:8
Marginea (latura) superioară și inferioară a secțiunii	σ_{max}	0,00	0,00; 0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
	σ_{min}	0,25	0,42; 0,00	0,70	0,16	0,23	0,44	0,64	0,67	0,75
Marginile secțiunii în mijlocul pereților	σ_{max}	2,75	3,75; 2,20	0,80	0,96	1,00	1,30	2,00	2,25	5,00
	σ_{min}	0,00	0,00; 0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Coeficienții de concentrare care au semnul (–) indică tensiuni de tracțiune.

Din analiza tensiunilor din jurul lucrărilor miniere orizontale se constată că:

— pereții lucrărilor miniere cu secțiune pătrată și dreptunghiulară există tensiuni de compresiune a căror valoare maximă este la partea superioară și la cea inferioară a pereților, iar cea minimă la mijlocul înălțimii acestora;

— în lucrările de formă circulară sau eliptică pereții sînt supuși, de asemenea, tensiunilor de compresiune, aceste tensiuni fiind maxime la extremitățile axei orizontale;

— în tavanul și vatra lucrării apar, în cele mai dese cazuri, tensiuni de tracțiune;

— la lucrările cu secțiune poligonală se produc concentrări de tensiuni de compresiune și de forfecare la punctele de contact dintre tavan și pereți, respectiv la punctele de contact dintre vatră și pereți.

Cele mai expuse din punct de vedere al rezistenței și stabilității sînt porțiunile din perimetrul secțiunii lucrării subterane supuse la tensiuni de tracțiune și de forfecare.

Zonele respective se identifică cu ajutorul relațiilor:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu}\gamma_a \cdot H \leq \sigma_t$$

și

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu}\gamma_a \cdot H \leq \sigma_f \qquad (3.13)$$

Pentru ca lucrarea minieră să fie stabilă, valorile astfel determinate nu trebuie să depășească rezistențele mecanice respective ale rocilor considerate.

Studiile analizate pînă în prezent s-au referit la forme geometrice perfecte. Dacă se ține seama de faptul că lucrările miniere au conturul real neregulat, cu intrînduri și ieșinduri, în special cînd se folosesc lucrări de perforare-împușcare, acestea vor genera concentrări suplimentare ale tensiunilor în comparație cu tensiunile calculate ale conturului proiectat. Coeficienții de concentrare suplimentară a tensiunilor în vîrfurile neregularităților nu depind de forma conturului lucrării ci, în principal, de amplitudinea și numărul neregularităților. Concentrarea locală a tensiunilor datorită neregularităților conturului este considerabil mai mare decît pentru contururi ideale. Astfel, întrîndurile auzează concentrări de tensiuni, iar ieșindurile descărcări de tensiuni.

Pentru evitarea formării tensiunilor suplimentare, care creează perturbări ale stării de tensiune, este recomandabil ca lucrările miniere să se execute prin împușcări de netezire sau cu ajutorul combinelor. În aceste cazuri, tensiunile suplimentare vor fi reduse la minimum.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se consideră o lucrare minieră verticală, cu secțiunea circulară (fig. XVI.55), executată într-un masiv elastic omogen și izotrop, starea de tensiune se exprimă prin relațiile:

$$\sigma_r = \frac{\mu}{1 - \mu}\gamma_a H\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right),$$

$$\sigma_\theta = \frac{\mu}{1 - \mu}\gamma_a \cdot H\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) \qquad (3.14)$$

Pentru punctele de pe conturul puțului, adică pentru $r = a$, aceste tensiuni au valorile: $\sigma_r = 0$;

$\sigma_\theta = \frac{2\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H$, adică $\sigma_\theta = 2\sigma_x = 2\sigma_y$. Se constată, din acest grafic, că tensiunea tangențială are valoarea cea mai mare, iar tensiune radială — valoare [illegible]

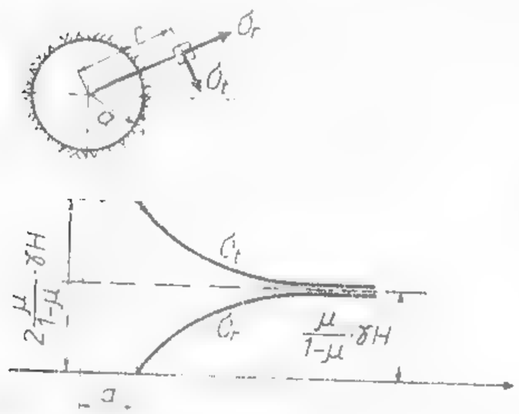


Fig. XVI.55. Variația tensiunilor radiale și tangențiale în jurul unei lucrări miniere verticale cu secțiune circulară (după P. M. Țimbarevici)

mică la periferia puțului și că aceste tensiuni (σ_θ) scad, respectiv (σ_r) cresc, tinzind asimptotic către valoarea:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{\mu}{1-\mu}\gamma_a \cdot H \qquad (3.16)$$

Pentru ca lucrarea minieră verticală să fie stabilă, este necesar să fie satisfăcută relația:

$$[illegible] \qquad (3.16)$$

3.2.1.2. Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere subterane executate în medii plastice sau elastice

Pornind de la unele date practice referitoare la echilibrul care ia naștere [illegible] orificiilor executate în medii plastice sau cu coeziune mică, precum și de la fenomenul de boltire observat la silozurile de cereale, s-a trecut la studierea prin metoda matematică de investigație a tensiunilor care apar în jurul acestor lucrări miniere de diferite forme și destinații.

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere orizontale [illegible] de la observațiile amintite, Labass a dedus ecuația generală de echilibru [illegible] unei lucrări miniere circulare, în coordonate polare, pentru cazul unei roci [illegible] considerînd lucrarea minieră în centrul axelor de coordonate și un element care se află la distanța r față de centrul axelor de coordonate (fig. XVI.56);

Se consideră că acest element se află în echilibru, dacă proiecția forțelor pe raza care trece prin centrul de greutate și pe perpendiculara la această rază vor fi egale cu zero. În acest caz:

$$\sigma_r \cdot r d\omega \cdot \left(\sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} dr\right)(r + dr) d\omega \cdot \sin\frac{d\omega}{2} - \sigma_t dr \cdot \sin\frac{d\omega}{2} - \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial \omega} d\omega\right) dr \cdot \cos\frac{d\omega}{2} - \gamma_a \cdot r d\omega \, dr \cdot \cos\omega = 0,$$

$$\sigma_t \cdot dr \cdot \cos\frac{d\omega}{2} - \left(\sigma_t + \frac{\partial \sigma_t}{\partial \omega} d\omega\right) dr \cdot \cos\frac{d\omega}{2}$$

$$\tau \cdot r d\omega \cdot \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial r} dr\right)(r + dr) d\omega + \sigma_t dr \cdot \sin\frac{d\omega}{2} \qquad (3.17)$$

$$\left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial \omega} d\omega\right) dr \cdot \sin\frac{d\omega}{2} + r d\omega \cdot \gamma_a \cdot \sin\omega = 0$$

După o serie de calcule se obține:

$$\sigma = \left(\frac{r}{a}\right)^{-1} \cdot \frac{3}{2}\gamma_a \cdot \frac{a}{r} - \left[\left(\frac{r}{a}\right)^{-1} - \frac{r}{a}\right]\cos\omega \qquad (3.18)$$

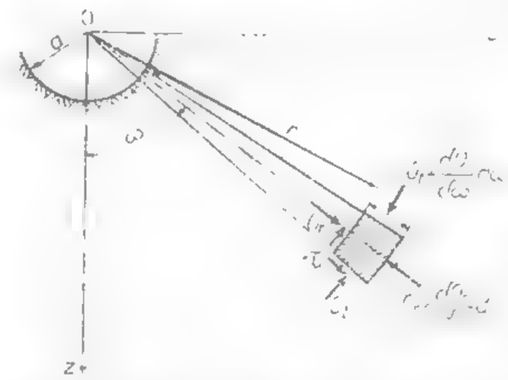


Fig. XVI.56. Echilibrul unui element în ipoteza lui Labass.

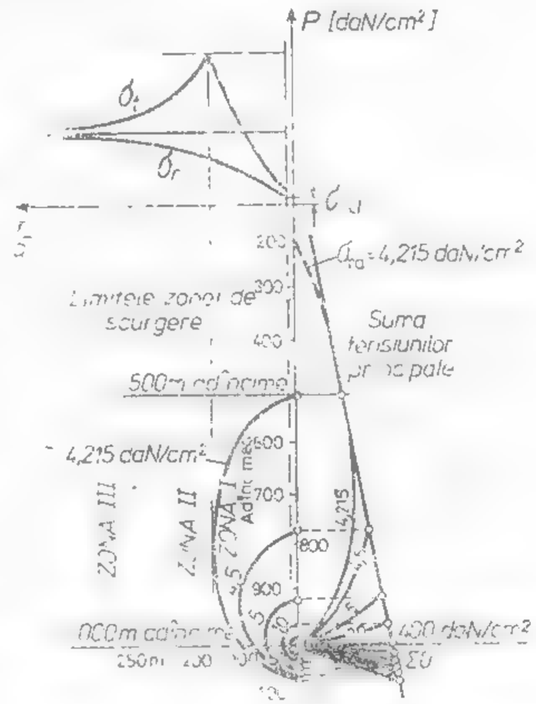


Fig. XVI.57. Formarea zonelor de curgere în jurul unei galerii orizontale cu secțiunea circulară pentru diferite valori ale reacțiunii susținerii (după M. Lemnere)

În urma studierii stărilor de tensiune se ajunge la concluzia că în jurul unei galerii circulare se formează o zonă de curgere de formă eliptică, cu axa mare verticală, avînd axa galeriei în focarul inferior (fig. XVI. 57

Această zonă de curgere se extinde pe distanțe cu atît mai mari, cu cît tensiunile radiale pe periferia lucrării, care se consideră egale cu reacțiunea susținerii p_i sau σ_{ra}, sînt mai mici.

Dacă reacțiunea susținerii scade sub o valoare anumită, caracteristică fiecărei roci în parte, atunci limita zonei de curgere nu mai este o elipsă, ci o curbă deschisă de genul parabolei, care taie suprafața. Aceasta înseamnă, din punct de vedere practic, că în jurul galeriei respective nu se va ajunge la un echilibru între tensiunile interioare, fenomenul de curgere fiind continuu spre golul creat de galerie. În astfel de roci, pentru a stabili echilibrul, va trebui să se aplice o susținere de mare rezistență

În urma acestor studii, H. L a b a s s, însușindu-și punctul de vedere al lui R. F e n n e r, admite ideea că în jurul lucrărilor miniere săpate în roci elastice sau plastice sau în roci elastice, unde tensiunile au depășit rezistențele corespunzătoare, se formează trei zone și anume:

zona tensiunilor *reduse*, în interiorul căreia rocile sînt fisurate și afînate, zonă delimitată de o suprafață învelitoare; în interiorul acestei zone tensiunile radiale și cele tangențiale cresc continuu;

zona tensiunilor *mărite* — inel portant — care cuprinde o bandă îngustă situată de-a lungul suprafeței învelitoare; în această zonă tensiunea tangențială atinge valoarea maximă;

zona *de trecere* de la tensiunile mărite la tensiunile din masiv, lucru demonstrat și de faptul că atît tensiunile tangențiale cît și cele radiale tind către valoarea tensiunilor din masivul intact.

Cele trei zone nu au un caracter static, ele evoluînd în strînsă legătură cu reacțiunea susținerii.

Considerînd că suprafața învelitoare a primei zone în care rocile sînt sfărîmate și afînate are o formă cilindrică, se va putea determina raza acesteia cu relația:

$$b = a\sqrt{\frac{2\sigma_{r0}(\mu+1)+\sigma_c}{(\mu+1)\sigma_c}} \qquad (3,19)$$

Repartizarea tensiunilor în rocile din jurul lucrărilor miniere verticale. Dacă se presupune că într-o formațiune de roci plastice sau clastice se execută un puț vertical cu secțiunea circulară, avînd o susținere interioară suficient de rezistentă, prevăzută cu anumite orificii, prin care materialul plastic sau clastic are posibilitatea să se scurgă, se va constata că, după o anumită perioadă de timp, se va ajunge la un echilibru între tensiunile din interiorul acelor roci, iar presiunea finală care va acționa asupra susținerii va putea fi preluată de susținerea respectivă.

Pentru stabilirea stării de tensiune din interiorul zonei de curgere, plecînd de la ecuația de echilibru în mediile clastice și aplicînd *funcțiile Ery* au fost stabilite relațiile:

$$\sigma_r = p_i\left(\frac{r}{a}\right)^{\mu-1}$$

$$\sigma_\theta = \mu\,\sigma_r = \mu\cdot p_i\left(\frac{r}{a}\right)^{\mu-1} \qquad (3,20)$$

Din examinarea stărilor de tensiune (fig. XVI.58), se constată că tensiunile radiale și cele tangențiale din interiorul zonei de curgere nu depind de adîncimea la care se găsește punctul studiat și nici de greutatea specifică aparentă a rocilor.

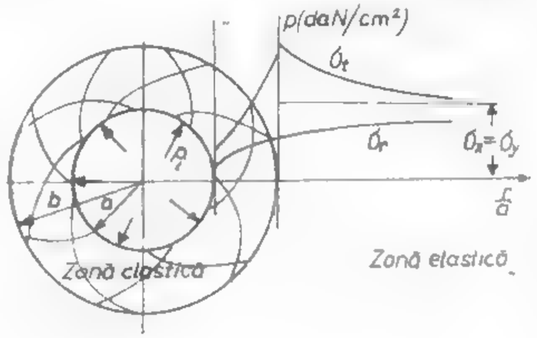


Fig. XVI.58. Starea de tensiune în jurul unei lucrări verticale de secțiune circulară executată în roci elasto-clastice.

În exteriorul zonei de curgere tensiunile au valorile

$$\sigma_r = \lambda\cdot\gamma_a\cdot H\left[1-\frac{b^2}{r^2}\sin\varphi\right];$$

$$\sigma_t = \lambda\cdot\gamma_a\cdot H\left[1+\frac{b^2}{r^2}\sin\varphi\right]; \qquad (3,21)$$

$$\lambda = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}$$

Din aceste relații rezultă că tensiunile din exteriorul zonei de curgere depind de adîncime și de greutatea pecifică aparentă. Ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale și aici se formează cele trei zone.

Mărimea razei (b) a zonei de tensiuni reduse se determină din relația:

$$b = a\sqrt[\mu-1]{1-\frac{\sin\varphi}{\mu}\cdot\frac{\gamma_a H}{\sigma_{ra}}} \qquad (3,22)$$

Pe baza unor considerații teoretice, s-a ajuns la concluzia că un puț vertical executat în roci clastice sau cu coeziune mică va continua să fie stabil dacă după formarea zonei de curgere este îndeplinită condiția

$$\sigma_{ra} \geq \gamma_a\cdot a$$

Astfel pentru un puț care are $a = 3$ m, fiind executat într-o rocă cu $\gamma_a = 2,4\cdot 10^4$ N/m³ relația devine

$$\sigma_{ra} \geq 2,4\cdot 3 = 0,72 \text{ daN/cm}^2.$$

Această condiție poate fi realizată numai în prezența unei substanțe cu mică rezistență.

Cînd lucrarea miniară se săpă într-o rocă care are o coeziune mică și cînd tensiunea tangențială între ea și valoare rezistența de rupere la compresiune a rocilor, formîndu-se zona sfărîmată, zonă în care rocile mai posedă o anumită coeziune — legătura între tensiuni este dată de L a b a s s sub forma

$$\sigma_\theta + c \operatorname{ctg} \varphi \qquad 1 + \sin \varphi$$

$$\sigma_r + c \operatorname{ctg} \varphi \qquad 1 - \sin \varphi$$

Expresiile tensiunilor în zona de curgere au valorile

$$\sigma_r = (p_i + c \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^{\frac{2}{j}-1} - c \operatorname{ctg} \varphi \qquad (3.23)$$

$$\sigma_\theta = j \cdot \sigma_r$$

De remarcat că ultimele relații sînt mult mai generale decît relațiile stabilite de *Fenner*, care dealtfel se obțin din acestea pentru $c = 0$.

3.2.2. STUDII ȘI CERCETĂRI NUMERICE REFERITOARE LA REPARTIZAREA TENSIUNILOR (METODA ELEMENTELOR FINITE)

Această metodă constituie un procedeu de calcul prin care se pot rezolva în prezent multe probleme din domeniul mecanicii rocilor și îndeosebi al minelor.

Metoda are la bază principiul elementelor finite care, de fapt, constă în minimizarea, din aproape în aproape, a funcțiilor și extinderea metodei *Rayleigh-Ritz*. În principal desfășurarea soluționării constă din două probleme: 1) determinarea ecuației cu diferențiale parțiale și; 2) minimizarea funcției. Aceste două probleme se rezolvă prin intermediul unui număr discret de valori asociate la un parametru *model specific*, rezultat din divizarea unei regiuni sau suprafețe în o serie de elemente poligonale de diferite forme denumite *elemente* sau *celule*. Se consideră deci masivul de rocă heterogen ca fiind constituit dintr-un număr finit de elemente de formă triunghiulară articulate între ele în vîrfuri (fig. XVI.59). Din acest masiv preluăm un element finit de formă triunghiulară definit de valorile i, j, k, adică de o funcție aproximată prin trei valori nodale Φ_i, Φ_j, Φ_k de tip liniar în coordonate x și y:

$$\Phi = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + C_i y) ; (a_j + b_j x + C_j y) ; (a_k + b_k x + C_k y)] \begin{Bmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \\ \Phi_k \end{Bmatrix}$$

unde $2\Delta \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix}$ = 2 · aria triunghiului ij

$$a_i = x_k y_j - x_j y_k ; \quad b_i = y_k - y_i ; \quad C_i = x_j - x_k$$

$$a_j = x_i y_k - x_k y_i ; \quad b_j = y_i - y_j ; \quad C_j = x_k - x_i$$

$$a_k = x_j y_i - x_i y_j ; \quad b_k = y_j - y_k ; \quad C_k = x_i$$

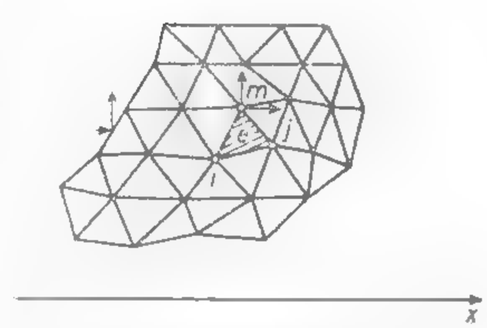


Fig. XVI.59. Structura plană divizată în triunghi.

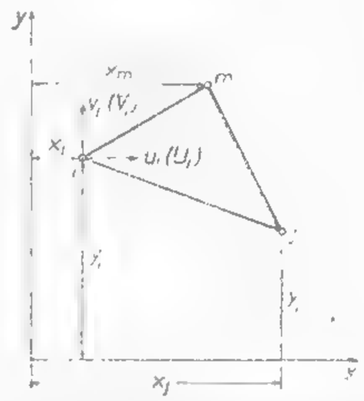


Fig. XVI.60. Triunghi elementar definit prin puncte nodale.

unde $x_i, x_j, x_k, y_i, y_j, y_k$ sînt coordonatele punctelor nodale ce definesc elementul triunghiular. Relația anterioară poate fi redată ca ecuație diferențială și sub forma

$$\Phi = [N_i ; N_j ; N_k] \{\Phi^e\} = \{N(x ; y)\} \{\Phi^e\}$$

care după derivare se poate minimiza.

Mărimea unui element utilizat în modelarea problemelor prin procedeul elementului finit nu este arbitrar aleasă, ci ea corespunde sensului fizic ce dorim să-l modelăm. Fiecare element al modelului considerat poate fi identificat prin trei puncte nodale i, j, k numerotate în sens invers acelor de ceasornic și localizat prin coordonatele de poziție (fig. XVI.60).

$$i(x_i ; y_i) ; j(x_j y_j) ; k(x_k y_k)$$

Sînt mărimi fizice ca: proprietățile fizico-mecanice, elastice și reologice ale rocii studiate toate aceste mărimi vor defini în primul rînd elementul e și, în final, întreaga structură printr-o funcție de deplasări (δ); de deformații (ε); de tensiunea (σ) de forțe nodale (F) și funcția de funcții care este soluția întregului ansamblu — masivul de rocă studiat, în contextul fenomenului analizat. Astfel, pentru cazul rețelelor de tip triunghiular, funcțiile deplasării se pot reda sub forma polinoamelor de tipul:

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \qquad (3.24)$$

$$v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y.$$

unde $\alpha_1 \ldots \alpha_6$ sînt parametrii de liniarizare constanți pentru un element. Deci:

$$u_i = \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i \quad v_i = \alpha_4 + \alpha_5 x_i + \alpha_6 y_i$$

$$u_j = \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j \quad v_j = \alpha_4 + \alpha_5 x_j + \alpha_6 y_j$$

$$u_k = \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k \quad v_k = \alpha_4 + \alpha_5 x_k + \alpha_6 y_k$$

Adică:

$$\{\partial\}^e = [A]\{\alpha\}$$

Funcția deformațiilor se poate reda prin intermediul deplasărilor sub forma

$$\{\varepsilon\}^e = [B]\{\partial\}^e \qquad (3.25)$$

unde: $\{\varepsilon\}^e$ este vectorul componentelor deformației unui element $\{\varepsilon_x; \varepsilon_y; \gamma_{xy}\}$

$\{\partial\}^e$ — vectorul deplasărilor nodale pentru același element $\{u_i; u_j; u_k; v_i; v_j; v_k\}$

În conformitate cu legea constitutivă considerată, în cazul de față *legea lui Hooke* tensiunile într-un element devin

$$\{\sigma\}^e = [D]\{\varepsilon\}^e$$

sau:

$$\{\sigma\}^e = [D][B]\{\partial\}^e \qquad (3.26)$$

Forțele nodale pot fi calculate din coordonatele tensiunilor prin intermediul expresiei:

$$\{F\}^e = [C]\{\sigma\}^e \qquad (3.27)$$

Combinînd ecuațiile de mai sus se obține:

$$\{F\}^e = [K]^e\{\partial\}^e \qquad (3.28)$$

unde $[K]^e$ reprezintă matricea de rigiditate a unui element

$$[K]^e = [C][D][B] \qquad (3.29)$$

$[C]$ — este o matrice cu 6 rînduri și trei coloane, în general transpusa lui $[B]$, adică $[B]^T$ și ea depinde de forma și orientarea elementului.

Pentru o rețea întreagă de n elemente finite, relația devine

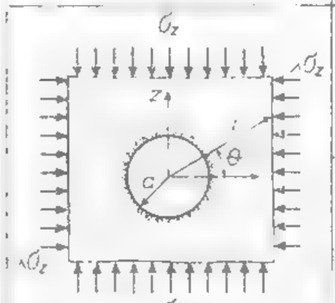
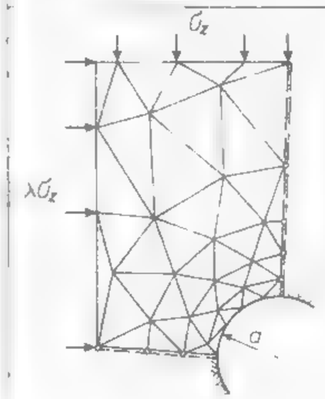
$$F = [K_n]\{\partial\}^e \qquad (3.30)$$

unde $[K_n]$ este $n \cdot n$ matrici ca matrice de matrici a întregului sistem considerat. În baza ultimei expresii și utilizînd principiul lucrului mecanic, virtual se pot determina forțele F după care problema este rezolvată, obținîndu-se, conform relațiilor anterioare, starea de tensiune-deformare căutată. Se dă spre exemplificare și comparativ cu soluția clasică (*relațiile lui Fenner* pentru starea de tensiune-deformare a rocilor din jurul unei lucrări miniere orizontale de formă circulară executată într-un masiv elastic omogen și izotrop) rezultatele obținute prin metoda elementului finit (tabelul XVI.27).

Deci în metoda elementului finit pentru rezolvarea unei probleme se parcurg următoarele etape.

1) schematizarea mediului — masivul este înlocuit cu un ansamblu de elemente finite cu proprietăți interconectate în noduri;

Tabelul XVI.27 Compararea valorilor obținute prin metoda clasică și prin metoda elementelor finite

	VALOAREA COMPONENTELOR DE TENSIUNE SECUNDARĂ PLANĂ ȘI A DEPLASĂRII ÎN CAZUL UNEI LUCRĂRI MINIERE ORIZONTALE DE FORMĂ CIRCULARĂ					
	Pentru o stare primară de tensiune monoaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda\sigma_z = 0$			Pentru o stare primară de tensiune biaxială $\sigma_x = \sigma_y = \lambda\sigma_z$ și $\sigma_z = \gamma_0 H$		
	Tensiunea radială pentru $r=a$ σ_r [MPa]	Tensiunea tangențială pentru $r=a$ σ_θ [MPa]	Deplasarea radială u_r [m]	Tensiunea radială pentru $r=a$ σ_r [MPa]	Tensiunea tangențială pentru $r=a$ σ_θ [MPa]	Deplasarea radială u_r [m]
	METODA CLASICĂ					
	$\theta=0$			$\theta=0$		
	0	-21	0,010	0	-14	-0,0203
	$\theta=90°$			$\theta=90°$		
	0	7	0,0305	0	-14	-0,0203
	METODA ELEMENTULUI FINIT					
	$\theta=0$			$\theta=0$		
	-0,924	20,951	0,0116	-1,302	-14,28	-0,0202
	$\theta=90°$			$\theta=90°$		
	-0,434	6,727	0,032	-1,302	-14,28	-0,0202
	DATELE PROBLEMEI: $\sigma_z = 7$ MPa; $E = 7000$ MPa; $\mu = 0,25$; $a = 1,5$ m					

2) se stabilesc rigiditățile fiecărui element, respectiv deplasările care apar în noduri cînd se aplică în acestea o forță exterioară. Comportamentul fiecărui element trebuie să aproximeze cît mai bine comportamentul porțiunii de masiv pe care o înlocuiește;

3) se reconsideră masivul, legînd între ele elementele finite în care a fost împărțit. Legăturile se fac în noduri și constau în scrierea unei condiții de echilibru — forțele în nod trebuie să fie nule, adunîndu-le din toate elementele concurente în nodul respectiv;

4) în acest nod se obține un sistem de $2n$ ecuații (n = numărul nodurilor) cu $2n$ necunoscute ($2n$ — numărul deplasărilor nodurilor). Ca termeni liberi vor figura forțele exterioare care se aplică în nodurile respective;

5) rezolvînd sistemul se obțin deplasările întregii structuri și apoi pe baza lor se pot stabili ușor deformațiile și eforturile.

Marele avantaj al metodei este faptul că funcțiile cu care se aproximează comportarea reală a masivului sînt simple, ele putînd avea valori diferite de la element la element. Deci se poate impune fiecărui element o comportare proprie funcție de caracteristicile rocii, aplicînd în calcule caracterul anizotrop și heterotrop al rocii, adică heterogenitatea masivului, diferențele între caracteristicile elastice, comportamentul neliniar sau plastic, modul diferit de curgere etc. În cazul unui proces de plastifiere de exemplu, rînd pe rînd elementele în care a fost depășită limita elastică se vor comporta plastic, compatibilitatea ansamblului fiind asigurată de rezolvarea simultană a sistemului de ecuații. Tot acest calcul este realizat de calculator ; un program de element finit odată pus la punct poate rezolva probleme foarte variate, doar prin modificarea datelor și aplicarea anumitor restricții. Un calcul prin metoda elementului finit face azi posibilă interpretarea justă a comportării în timp a excavațiilor miniere.

3.2.3. STUDII ȘI CERCETĂRI EFECTUATE PRIN METODA OPTICĂ

Pentru determinarea stărilor de tensiune din jurul lucrărilor minere, în special în cazul profilelor asimetrice, sau pentru cazul cînd aceste probleme nu pot fi studiate prin metodele matematice, se folosește metoda optică sub diferite forme.

Metoda optică polarizatoare. Această metodă, aplicată la lucrările miniere, este similară ca principiu cu metoda aplicată în studiul tensiunilor care apar în diferite organe de mașini.

Metoda constă din executarea, într-o placă de material optic activ (sticlă, celuloid, decorit) cu proprietăți elastice, a formei secțiunii transversale a lucrării miniere care urmează a fi studiată. Plăcile din material optic activ sînt supuse la eforturi corespunzătoare adîncimilor din practică, pentru care se urmărește studiul repartizării tensiunilor.

Datorită eforturilor exterioare, se creează în placa de decorit o anumită stare de tensiuni, care depinde de forma profilului studiat. Această stare de tensiuni, care este caracterizată prin zone de compresiune și zone de tracțiune, are ca urmare producerea în placa de material optic activ a unei schimbări a compactității acestui material și anume în zonele comprimate compactitatea devine mai mare, iar în zonele supuse la tensiuni de tracțiune compactitatea este mai mică.

La început, pe placa modelului, toate punctele în care nu există diferență între tensiunile principale apar întunecate, deoarece acolo nu are loc nici o întîrziere a componentei razei de lumină.

Aceste puncte, de același ordin al tonalității culorii și care sînt caracterizate prin aceeași diferență de tensiuni principale, se prezintă pe imaginea fotografică unite între ele sub forma unor linii curbe, continui, de culoare închisă, numite *curbe de tensiuni egale*. Liniile de diferite ordine sînt separate între ele prin fîșii luminoase.

Rezultatele cercetărilor întreprinse prin metoda optică polarizată sînt redate sub formă de fotografii și de grafice ale stărilor de tensiune în fig. XVI.61.

Metoda optică cromatică. Este asemănătoare metodei precedente, cu deosebirea că în acest caz se folosește ca material optic activ igdantina, iar solicitarea este realizată prin greutate proprie. Liniile de tensiuni egale poartă numele de *izocrome*.

Procedeul descris se referă la starea plană de solicitare. Cînd excavațiile subterane prezintă forme complicate, poate fi aplicată fotoelasticitatea spațială prin metoda fixării deformației modelului — *procedeul înghețării tensiunilor*.

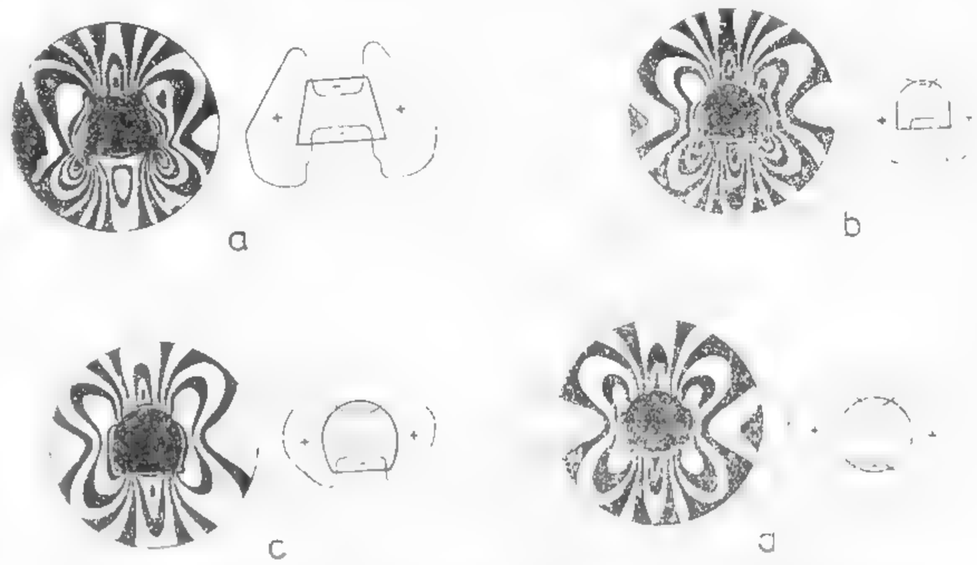


Fig. XVI.61. Repartizarea tensiunilor în jurul unor lucrări miniere orizontale de diferite forme ale secțiunilor transversale (după Dorstewitz).
a — trapezoidala ; *b* — boltită ; *c* — pot[illegible]

3.2.4. STUDIUL TENSIUNILOR ȘI A REPARTIZĂRII ACESTORA PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

Metodele analitice folosite în analiza stărilor de tensiuni sînt limitate la anumite forme de profile, iar metoda elementelor finite [illegible] ridicate majorînd mult costul. În foarte multe [illegible] analiza experimentală a stărilor de tensiune devine singura metodă posibilă de aplicat, avînd o eficiență ridicată într-un timp relativ redus.

Măsurarea tensiunilor în masiv poate fi realizată prin:

1) metoda descărcării de tensiuni a masivului de rocă, 2) metoda găurilor de mină și 3) metode bazate pe studiul propagării undelor.

Metoda descărcării rocilor de tensiuni poate fi analizată [illegible]

— procedeul restabilirii stării inițiale de tensiuni ;
— procedeul descărcării parțiale de [illegible]
— procedeul descărcării totale de tensiuni.

Procedeul restabilirii stării inițiale de tensiuni. Acest procedeu are la bază ideea readucerii rocii în prealabil decomprimate, printr-un găgaș sau gaura de sondă, la starea inițială de compresiune, cu ajutorul unei aparaturi adecvate [illegible] măsura.

Procedeul implică efectuarea următoarelor operații.

În prima fază, pe peretele intact al lucrării subterane, adică înainte de executarea găgașului sau a găurii de sondă, se montează aparate cu coarde vibratorii, determinînd [illegible] acestora (denumită *tonalitate* [illegible]

în faza a doua, pe porțiunea de cercetat a peretelui galerici, se execută [illegible] plan sau o gaură de sondă (după procedeul de lucru ales), care dă posibilitate rocii să se destindă elastic, suferind deformații ce se pot măsura.

în faza a treia, în interiorul făgașului se introduce o presă plată, iar în gaura de sondă cu diametrul de 250 mm un dispozitiv constînd din patru cricuri independente tip *Freyssinet*. Presa plată este fixată în interiorul făgașului cu mortar de ciment (fig. XVI.62).

Pentru găurile de sondă aparatul nu are nevoie de cimentare, el fiind fixat pe pereți prin simpla creștere a presiunii în cricurile respective.

Operația din această fază de lucru constă în punerea sub presiune a cricurilor, [illegible] rocii în onjurătoare făgașului sau găurii de sondă ajunse în starea de comprimare inițială, ceea ce se constată prin faptul că toate aparatele cu coarde vibrante [illegible] tonalitatea lor inițială. Metoda a fost folosită la stabilirea stării de tensiune la I. [illegible] Baia Mare.

Procedeul descărcării parțiale de tensiuni. Procedeul constă în folosirea a [illegible] tensometre dispuse după laturile unui triunghi echilateral cu laturile de 200 mm, în centrul [illegible] se forează o gaură de mină cu diametrul de 56 mm sau mai mare (fig. XVI.63).

Gaura servește ca spațiu de destindere a rocii comprimate natural, iar deformațiile sînt înregistrate de microcomparatoarele extensometrelor. Datorită dimensiunii relativ mici a găurii de mină, executarea acesteia nu poate produce fisuri în masa rocii [illegible]

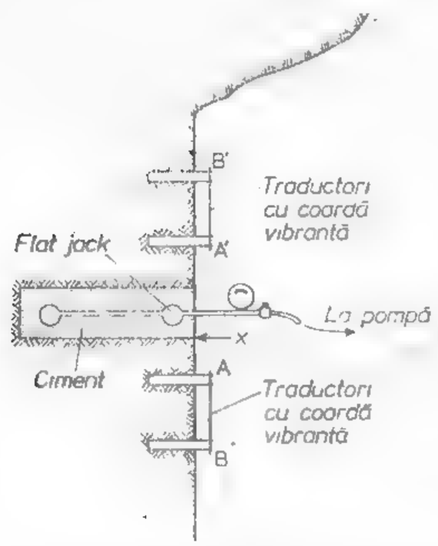


Fig. XVI.62 Procedeul restabilirii tensiunilor inițiale.

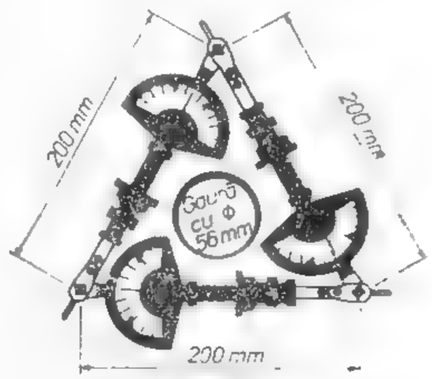


Fig. XVI.63. Procedeul descărcării parțiale de tensiuni.

cercetează. Rezultatele obținute au valoare locală și nu pot fi generalizate pentru întreaga lucrare subterană. Pentru a avea rezultate cît mai concludente este necesar să se [illegible] cît mai multe măsurători în locuri cît mai diferite și pe ambii pereți ai lucrării.

Procedeul descărcării totale de tensiuni. Procedeul descărcării totale se bazează pe îndepărtarea completă a stării de tensiune-deformare existentă în masiv în faza inițială, măsurarea deformațiilor putîndu-se realiza fie pe pereții laterali ai găurii de mină, fie pe fundul acesteia.

Măsurarea deformațiilor pereților laterali se realizează cu ajutorul unui *deformometru* (fig. XVI.64), iar măsurarea deformațiilor pe fundul găurii de mină se realizează fie cu ajutorul marcilor tensometrice (fig. XVI.65), fie prin fotoelasticitate (fig. XVI.66).

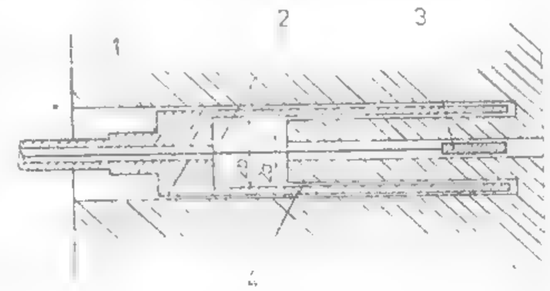


Fig. XVI.64. Modul de realizare a simburelui de rocă în procedeul descărcării totale de tensiuni:

1 — [illegible] rotativă de forare; 2 — axul aparatului [illegible] a deformațiilor; 3 — deformometru; 4 — nucleul de rocă eliberată de tensiune.

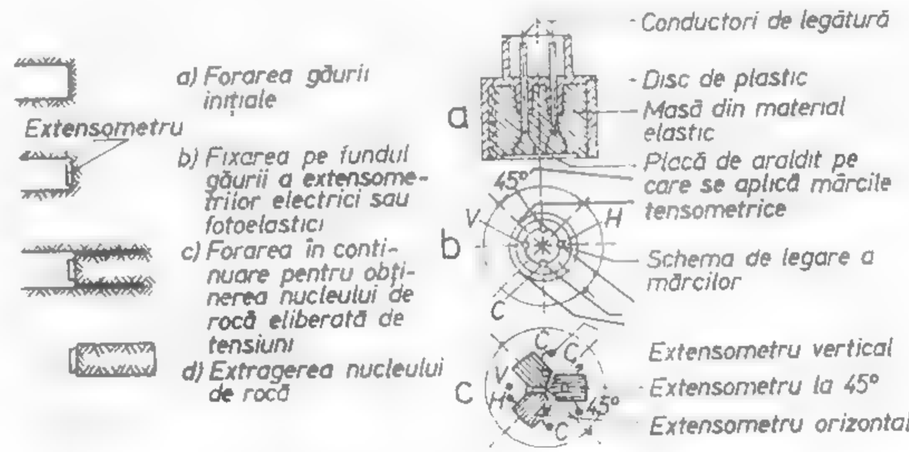


Fig. XVI.65. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurii prin

- [illegible] dispozitivului cu ajutorul căruia se [illegible] pe fundul [illegible]
- schema electrică de [illegible] a marcilor tensometrice [illegible] pe fundul [illegible]

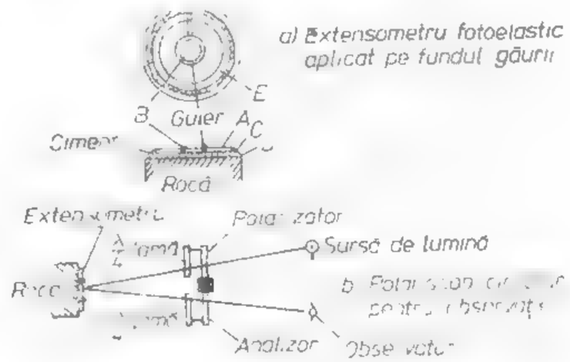


Fig. XVI.66. Măsurarea deformațiilor pe fundul găurilor după procedeul lui Hawkes.

Metoda găurilor de mină este asemănătoare celei precedente. Metodele bazate pe studiul propagării undelor au fost tratate anterior. Cele mai bune rezultate în studiul tensiunilor le dau metodele care rezultă din combinarea metodelor teoretice cu verificarea practică a acestora.

3.3. PRESIUNEA ROCILOR ÎNCONJURĂTOARE ASUPRA EXCAVAȚIILOR MINIERE SUBTERANE

Presiunea minieră reprezintă totalitatea forțelor generate de redistribuirea stării inițiale de tensiune din masivul deranjat în urma executării lucrărilor miniere, forțe sub a caror acțiune are loc deformare și deplasarea rocilor înconjurătoare. Această presiune acționează asupra lucrărilor miniere de deschidere și pregătire.

În cazul în care, datorită excavației subterane masele de roci se pun în mișcare, presiunea exercitată de masa mobilă a acestor roci nu mai are un caracter static, ci dinamic, motiv pentru care această presiune este denumită *presiune litodinamică*. Presiunea litodinamică interesează atît la dimensionarea lucrărilor de deschidere și pregătire, cît mai ales la clarificarea problemelor referitoare la dirijarea presiunii în cazul metodelor de exploatare, unde frontul de abataj este în continuă mișcare.

După *P. M. Țimbarevici*, presiunea litostatică primară și cea secundară sau stabilizată sînt diferite pentru diversele categorii de roci (fig. XVI.67).

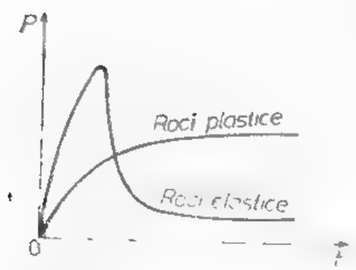


Fig. XVI.67. Reprezentarea presiunii litostatice primare și secundare asupra unei galerii în funcție de timp (după P. M. Țimbarevici).

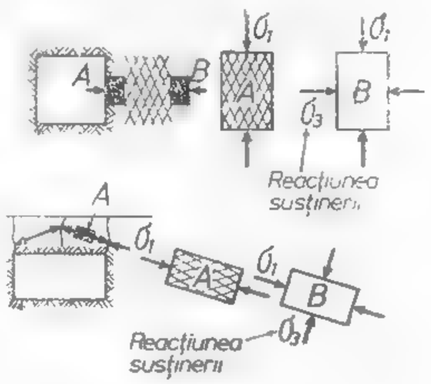


Fig. XVI.68. Formarea fisurilor în pereții și tavanul unei galerii și efectul susținerii.

Pentru ilustrarea modului de manifestare a presiunii, se consideră o excavație subterană (fig. XVI.68) de formă pătrată și un element *A* care se află pe peretele lateral al lucrării.

Datorită concentrării tensiunilor, presiunea care va acționa asupra elementului după direcția *z* va fi cu ceva mai mare decît σ_z.

Dacă se notează presiunea maximă de compresiune cu σ_1 și reacțiunea susținerii cu σ_3, se va putea scrie ecuația de stabilitate a unui element sub forma

$$\sigma_1 = 2c\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi} + j\,\sigma_3. \qquad (3.31)$$

După cum se știe, la marginea excavației $\sigma_3 = 0$, în care caz

$$\sigma_1 = 2c\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}. \qquad (3.32)$$

Pentru un unghi de frecare interioară $\varphi = 37°$, se obține:

$$\sigma_1 = 4c.$$

Dacă $\sigma_1 < 4c$, adică tensiunea de compresiune depășește rezistența rocii, fisurarea de forfecare se va extinde pînă la elementul *B*, unde se presupune că se dezvoltă o tensiune naturală σ_3, suficient de mare pentru a opri fisurarea de forfecare.

În acest caz:

$$\sigma_1 = 4c + 4\sigma_3. \qquad (3.33)$$

Rolul tensiunii laterale naturale poate fi jucat de susținere. Astfel, prin montarea unei susțineri cu o reacțiune σ_3, rezistența la forfecare a rocii crește de la $4c$ pînă la $4c + 4\sigma_3$ — pentru $\varphi = 37°$. Mărimea reacțiunii susținerii poate fi stabilită pentru fiecare caz în parte în funcție de natura rocilor și de modul de comportare a acestora. Situația este similară și pentru tavanul lucrării, unde prin aplicarea unei susțineri cu reacțiunea σ_3 se evită formarea fisurilor de întindere, realizîndu-se astfel condiția de stabilitate necesară.

În cazul cînd presiunile care acționează asupra lucrării miniere întrec rezistența rocilor — lucrarea minieră fiind nesusținută, sau dacă susținerea cedează foarte mult — se formează în jurul lucrări miniere o serie de fisuri de forfecare (fig. XVI.69), care se extind pînă cînd tensiunile naturale orizontale vor fi capabile să oprească forfecarea. Pentru o lucrare minieră cu secțiunea pătrată, fisurarea începe de la colțuri spre tavan și pereții laterali, această lucrare tinzînd în primă fază să devină o lucrare minieră circulară (fig. XVI.69, *b*), fisurarea continuînd apoi ca și pentru cazul lucrării miniere circulare (fig. XVI.69, *a*).

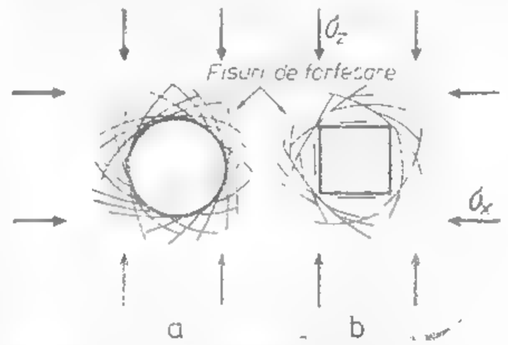


Fig. XVI.69. Formarea fisurilor de forfecare în jurul unei galerii:

a — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secțiune circulară; *b* — modul de formare a fisurilor în jurul unei lucrări miniere cu secțiune pătrată

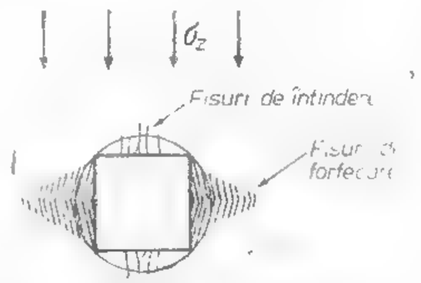


Fig. XVI.70. Formarea fisurilor de forfecare și de întindere la o galerie orizontală.

Direcția fisurilor de forfecare formează un unghi de $45° + \frac{\varphi}{2}$, cu o rază aleasă în acest punct.

Cînd asupra lucrării acționează numai tensiuni verticale, pe lîngă fisurile de forfecare se vor produce în tavanul și vatra lucrării minierе și fisuri de întindere care, așa după cum se știe, sînt foarte periculoase (fig. XVI.70). Studiul presiunilor poate fi realizat prin metode teoretice, prin măsurători directe sau prin metoda materialelor echivalente.

3.3. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE ORIZONTALE

3.3.1.1. Presiunea din tavan

Totalitatea ipotezelor referitoare la mărimea presiunii rocilor din tavanul lucrări miniere orizontale pot fi împărțite în două mari grupe și anume:

ipoteze care consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere acționează întreaga greutate a coloanei stratigrafice de rocă pînă la suprafață*.

ipoteze care iau în considerare *formarea unei bolți de echilibru natural*.

Pentru ambele grupe au fost create atît ipoteze simplificate, care consideră presiunea rocilor ca o mărime ce nu depinde de susținere, cît și ipoteze care consideră presiunea ca rezultat al interacțiunii dintre susținere și rocile înconjurătoare.

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este dependentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Aceste ipoteze sînt create în special pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață, fiind mult folosite în cazul tunelurilor. Din multitudinea de ipoteze care fac parte din această grupă, aici vor fi tratate doar cîteva dintre cele mai reprezentative pentru cazul rocilor pămîntoase lipsite de coeziune sau cu coeziune mică, cît și pentru cazul rocilor coezive.

Roci fără coeziune sau cu coeziune mică. Ipoteza se bazează pe impingerea activă asupra zidurilor de sprijin. Conform acestei ipoteze, se consideră că *asupra tavanului unei lucrări miniere de orice formă geometrică acționează greutatea coloanei de roci care se găsește deasupra lucrării pînă la suprafață, mai puțin valoarea împingerii active a celor două prisme care se formează prin săparea lucrării miniere* (fig. XVI.71) rezultînd

$$P_v = Q - 2D \operatorname{tg} \varphi, \tag{3.34}$$

De aici

$$P_v = \gamma_a H \left[2a - H \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi \right] \quad [\mathrm{daN\,cm^2}] \tag{3.35}$$

Pentru ca rocile să se găsească în echilibru sau, cu alte cuvinte, pentru ca asupra lucrării miniere să nu acționeze nici un fel de presiune, este necesar ca greutatea coloanei de roci care acționează asupra lucrării să fie preluată de impingerea provocată de cele două prisme laterale care se formează, adică

$$Q = 2D \operatorname{tg} \varphi$$

sau:

$$2aH\gamma_a = \gamma_a H^2 \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi$$

de unde:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} \quad [\mathrm{m}] \tag{3.36}$$

Aceasta este adîncimea pînă la care ipoteza — în condițiile enunțate — este valabilă. În general, această ipoteză este valabilă pentru cazul cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mică față de suprafață. Astfel dacă se consideră: $2a = 4$ m și $\varphi = 40°$ rezultă

$$H = \frac{4{,}0}{\operatorname{tg}^2 \left(90° - \frac{40}{2} \right) \operatorname{tg} 40} \cong 22 \text{ m}$$

Cu alte cuvinte, dacă lucrarea este amplasată la o adîncime mai mare de 22 m, această ipoteză nu mai este aplicabilă, fiind necesară aplicarea unei ipoteze din grupa celor care consideră formarea unor bolți de echilibru natural.

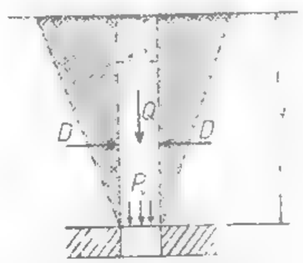


Fig. XVI.71. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile fără coeziune.

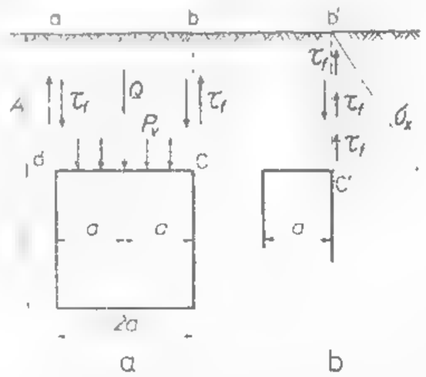


Fig. XVI.72. Schema de calcul a presiunii în ipoteza blocului de alunecare pentru rocile coezive:

a – schema generală de calcul a presiunii; *b* – formarea tensiunilor laterale datorită tensiunilor de forfecare.

Astfel, pentru o lucrare minieră cu lățimea $2a = 2$ m, săpată la adîncimea de 10 m, într-o formațiune de roci cu $\varphi = 40°$; $\operatorname{tg} \varphi = 0{,}84$; $f = 2$ și $\gamma_a = 1{,}8 \cdot 10^4$ N/m³ adîncimea de la care în jos se formează bolți de echilibru natural va fi

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(90° - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} = \frac{2}{\operatorname{tg}^2 (45° - 20°) \operatorname{tg} 40°} \cong 11 \text{ m}$$

Roci coezive. Aici fiind vorba de roci coezive, se va lua în considerare tensiunea de forfecare după planurile *ad* și *bc* (fig. XVI.72), rezultînd:

$$P = Q - 2\tau \qquad (3.37)$$

Pentru rocile argiloase care au coeziune dar nu au frecare interioară rezultă:

$$P = 2H(a\gamma_a \ldots) \qquad (3.38)$$

În condițiile de echilibru:

$$a\gamma_a \leq c \qquad (3.39)$$

Dacă lucrarea minieră se sapă într-o rocă care are atît coeziune cît și frecare interioară, se obține:

$$P_v = 2H\left[a\gamma_a - \left(c + \frac{1}{2}\sigma_x \operatorname{tg}\varphi\right)\right] \qquad (3.40)$$

Condiții de echilibru:

$$a\gamma_a < \left(c + \frac{1}{2}\sigma_x \operatorname{tg}\varphi\right) \qquad (3.41)$$

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare minieră cu $2a = 4$ m a fost săpată la adîncimea $H = 10$ m, într-o argilă saturată cu $c = 0{,}25$ daN/cm² și $\gamma_a = 1{,}7 \cdot 10^4$ N/m³. În acest caz

$$P_v = 2Ha\gamma_a - 2cH$$

sau $P_v = 400 \cdot 1000 \cdot 0{,}0017 - 2 \cdot 0{,}25 \cdot 1000 = 180$ daN/cm $= 0{,}45$ daN/cm² [illegible] $c < a\gamma_a$, adică $0{,}25 < 0{,}34$ și [illegible] acest caz [illegible] trebuie susținută.

Dacă [illegible] adîncimea lucrării miniere de la 400 cm la 280 cm [illegible] $a\gamma_a$, adică $0{,}25 > 0{,}24$ [illegible] lucrarea minieră va fi în echilibru [illegible] de susținere. Este evident faptul că [illegible] [illegible] după [illegible] [illegible] de argile [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] de timp [illegible] [illegible] unei susțineri [illegible] [illegible] [illegible]

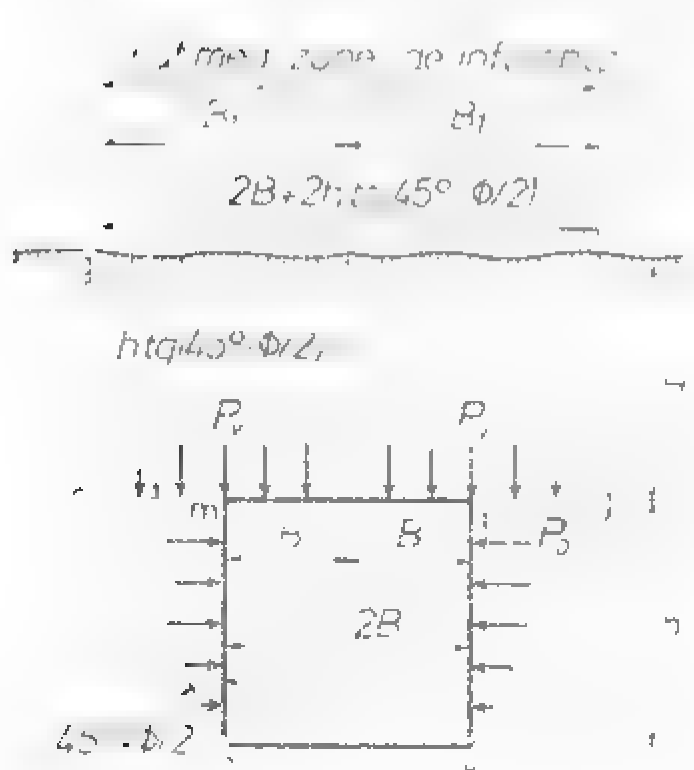


Fig. XVI.73 Schema de calcul a presiunii pentru rocile granulare după K. V. Terzaghi.

K. V. Terzaghi, plecînd de la ipoteza lui *Janssen* și *Bin*, consideră că în cazul materialelor granulare care mai posedă [illegible]

(fig. XVI.73), presiunea poate fi stabilită cu relația:

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \dfrac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg}\varphi}\left[1 - e^{-K \operatorname{tg}\varphi \frac{H}{B_1}}\right] \quad [\text{daN/cm}^2] \qquad (3.42)$$

în care

$$B_1 = B + h \operatorname{tg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (3.43)$$

K — coeficient care variază de la valoarea unitară, pentru mijlocul susținerii, la 1,5 pentru cele două limite laterale.

Dacă H/B este mare, valoarea termenului exponențial se apropie de zero și formula devine

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \dfrac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg}\varphi}. \qquad (3.44)$$

Această relație poate fi aplicată cînd $H/B = 4-5$, adică atunci cînd lucrarea minieră este amplasată la o adîncime mai mare de cel puțin 2—3 ori lățimea lucrării.

Cînd $c \geq B_1 \cdot \gamma_a$, presiunea verticală asupra susținerii va fi egală cu zero, adică lucrarea minieră se va autosusține.

Pentru exemplificare, se consideră că o lucrare cu $B = 200$ cm și $h = 360$ cm este săpată într-o rocă granulată cu $\varphi = 37°$,

$$\gamma_a = 0{,}0016 \text{ daN/cm}^3 \text{ și } c = 0$$

În acest caz

$$P_v = B_1 \frac{\gamma_a - \dfrac{c}{B_1}}{K \operatorname{tg}\varphi} = 380 \frac{0{,}0016 - \dfrac{0}{380}}{1 \cdot 0{,}75} = 0{,}8 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă roca va poseda o coeziune de $c = 0{,}25$ daN/cm², vom avea:

$$P_v = 380 \frac{0{,}0016 - \dfrac{0{,}25}{380}}{1 \cdot 0{,}75} = 0{,}5 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru acest caz,

$$B_1\gamma_a > c\text{, adică } 0{,}6 > 0{,}25$$

Pentru ca lucrarea minieră să se autosusțină este necesar ca roca să posede o coeziune de cel puțin 0,6 daN/cm².

Ipoteze bazate pe presupunerea că presiunea litostatică asupra tavanului este independentă de grosimea formațiunilor de roci acoperitoare. Din această grupă fac parte mai multe ipoteze care sînt asemănătoare între ele:

Astfel, W. Ritter consideră că în tavanul lucrării miniere se formează o boltă de echilibru închisă de o curbă de ecuație (fig. XVI.74):

$$y = \frac{\gamma_a \cdot x}{4\,\sigma_t} \cdot (d - x) \tag{3.45}$$

În consecință presiunea care va acționa asupra tavanului va fi dată de greutatea rocilor din interiorul bolții (pentru o lungime pe direcție de 1 m), mai puțin forțele de coeziune ale rocii care se manifestă ca rezistențe la tracțiune, rezultînd:

$$P_v = Q - D \tag{3.46}$$

După efectuarea calculelor se obține:

$$P_v = Q - D = \gamma_a \cdot d \left(\frac{\gamma_a d^2}{48\,\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \right) \quad [\text{daN/cm}^2] \tag{3.47}$$

Dacă $P_v < 0$, asupra tavanului lucrării miniere nu va exista presiune, deoarece greutatea rocii în acest caz este mai mică decît coeziunea rocii respective.

Dacă însă $P > 0$, atunci lucrarea minieră trebuie susținută. Această ipoteză dă rezultate satisfăcătoare la dimensionarea camerelor de exploatare la minele de sare. În general, ea este aplicabilă rocilor coezive.

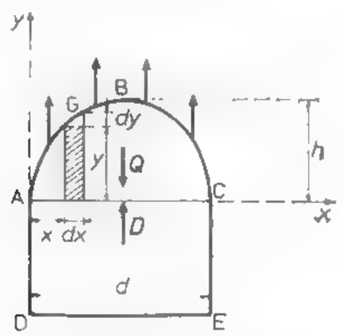


Fig. XVI.74. Schema de calcul a presiunii (după W. Ritter).

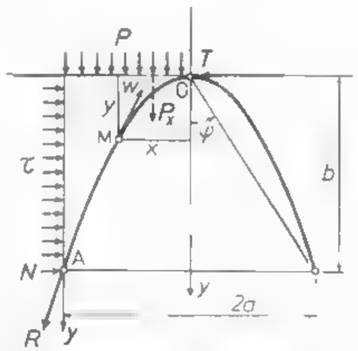


Fig. XVI.75. Formarea bolții de echilibru deasupra tavanului unei lucrări miniere orizontale (după M. M. Protodiakonov).

M. M. Protodiakonov consideră că în tavanul lucrării se formează o boltă parabolică de echilibru (fig. XVI.75)

$$y = \frac{Px^2}{2T} \tag{3.48}$$

Datorită tensiunilor, rocile din interiorul bolții sînt sfărîmate, acționînd cu greutatea lor asupra susținerii, rezultînd:

— pentru cazul rocilor tari $P_{min} = \dfrac{\gamma_a a^2}{f}$ [daN/cm²] (3.49)

— pentru cazul rocilor moi $P_{max} = \dfrac{4}{3} \dfrac{\gamma_a \cdot a^2}{f}$ [daN/cm²] (3.50)

Presupunînd că asupra tavanului acționează presiunea reală P, rezultă:

$$P_{max} > P > P_{min} \tag{3.51}$$

Pentru roci moi: $P > \dfrac{P_{max} + P_{min}}{2}$

Pentru roci tari $P < \dfrac{P_{max} + P_{min}}{2}$

Pentru roci cu tărie medie $P = \dfrac{P_{max} + P_{min}}{2}$

Protodiakonov a stabilit și adîncimea de la care formulele sale devin aplicabile și anume:

$$H = \frac{2a}{\operatorname{tg}^2 \left(\dfrac{90° - \varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi} \tag{3.52}$$

Datorită ușurinței de calcul cu relațiile lui Protodiakonov, acestea sînt foarte des întîlnite în practică, fiind folosite la proiectarea lucrărilor miniere.

Astfel, dacă se consideră că într-o rocă cu $\gamma_a = 2{,}2 \cdot 10^4$ N/m³ și $f = \operatorname{tg} \varphi = 3{,}5$ a fost săpată o lucrare minieră cu lățimea $2a = 4{,}5$ m, conform ipotezei lui Protodiakonov, presiunea maximă se determină cu relația

$$P_{max} = \frac{4}{3} \frac{\gamma_a \cdot a^2}{f} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2{,}2 \cdot 2{,}2}{3{,}5} = 0{,}093 \text{ daN/cm}^2.$$

Înălțimea boltii de echilibru va fi:

$$h = \frac{a}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{2{,}25}{3{,}5} = 0{,}64 \text{ m}$$

H. Labasse pornește de la considerentul că în rocile înconjurătoare lucrărilor miniere se formează trei zone:

— zona tensiunilor reduse, în care rocile datorită tensiunilor de pe contur se găsesc în stare plastică sau elastică;

zona tensiunilor mărite;

zona în care tensiunile se apropie de valoarea tensiunilor din masi

Pentru stabilirea presiunii care acționează asupra susținerii sau reacțiunea susținerii, în cazul cînd lucrarea minieră este săpată în roci elastice lipsite de coeziune Labasse pornește de la ecuația (3.18), de unde determină:

$$p = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} - \frac{3}{2}\,\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right]\cdot\cos\omega \qquad (3.53)$$

Dacă se analizează în mod separat fiecare termen al expresiei, notînd:

$$p = P_{iA} + P_{iB}$$

unde:

$$P_{iA} = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} \text{ și } P_{iB} = -\frac{3}{2}\,\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right]\cos\omega \qquad (3.54)$$

se vor putea desprinde o serie de concluzii și anume:

Prima expresie, adică P_{iA}, reprezintă mărimea tensiunilor radiale necesare pentru neutralizarea tensiunilor orizontale ale rocii și stabilirea echilibrului la limita zonei elastice. Ea nu depinde de unghiul ω, avînd aceeași valoare de jur-împrejurul lucrării (fig. XVI.76).

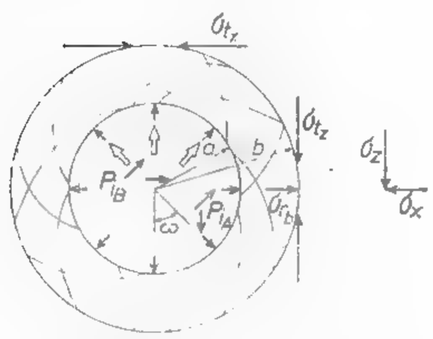


Fig. XVI.76. Modul de manifestare a presiunilor pe conturul lucrării orizontale circulare (după ipoteza lui Labasse).

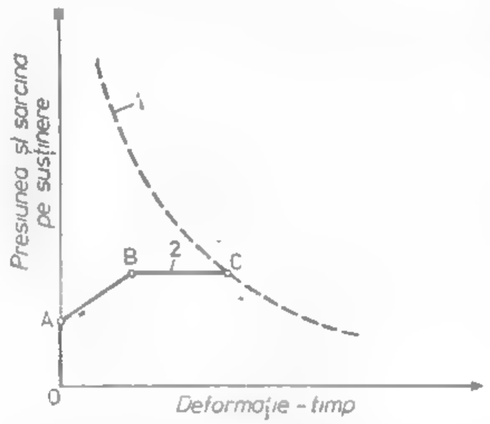


Fig. XVI.77. Interacțiunea dintre rocă și susținere după ipoteza lui Labasse

1 — curba de relaxare a rocilor, respectiv curba de variație a presiunii în timp; *2* — curba caracteristică a susținerii; *OA* — sarcina de pretensionare; *AB* — [illegible] simultană a rocii și a susținerii; *BC* — [illegible] depășirea portanței susținerii, aceasta cedează; *C* — [illegible] dintre rocă și susținere

Expresia următoare P_{iB} definește valoarea presiunilor verticale care variază în funcție de ω. Se observă că această valoare devine maximă pentru $\omega = 180°$ (unghiul se măsoară în sens invers acelor ceasornicului, pornind de la axa verticală orientată în jos).

Se constată că presiunea maximă va lua naștere la partea superioară (tavanul lucrării), descrescînd în mod corespunzător, astfel încît se va ajunge ca la extremitățile diametrului orizontal $\omega = 90°$ sau $270°$ aceasta să fie egală cu zero.

Pentru cazul cînd $b = a$, adică nu s-a produs nici o forfecare, iar limita zonei elastice coincide cu perimetrul orificiului, se observă că $P_B = 0$. În acest caz, asupra lucrării miniere nu vor mai acționa decît tensiunile radiale. Tot de aici se trage concluzia că presiunile verticale sînt date de greutatea rocii care se găsește în interiorul zonei elastice (zona sfărîmată), aceste presiuni fiind cu atît mai mari cu cît raza zonei elastice este mai mare.

Situația analizată ne arată că după săparea lucrării miniere roca se poate găsi într-o stare elastică — cînd nu se formează zona de rocă sfărîmată, sau într-o stare elasto-elastică — cînd are loc formarea acestei zone.

În concepția lui Labasse, mecanismul interacțiunii dintre susținere și rocile înconjurătoare — pentru cazul unei susțineri cu portanță controlată — este redat în fig. XVI.77.

Se constată, din această figură, că mărimea presiunii este influențată în mod direct de reacțiunea susținerii, de modul ei de comportare, de timpul scurs între procesul de săpare și cel de susținere etc.

Un caz frecvent întîlnit în subteran este acela cînd lucrarea minieră se sapă în argile saturate sau parțial saturate cu apă.

Argilele saturate sînt, în general, argile care nu au frecare interioară ($\varphi = 0$). Aceste argile, chiar după supunerea lor la forfecare, mai posedă o coeziune de pînă la 0,5 daN/cm². cedînd lent — asemănător cu un lichid vîscos — sub acțiunea presiunii.

Cînd argilele nu sînt complet saturate, acestea mai posedă pe lîngă coeziune și frecare interioară.

Pentru studiul presiunii verticale, care acționează asupra tavanului unei lucrări miniere circulare executate în astfel de roci, Caquot și Kerisel au stabilit următoarea ecuație:

$$P_{iv} = \frac{\gamma_a \cdot H}{j-2}\left[\frac{a}{H} - \left(\frac{a}{H}\right)^{j-2}\right] - T\left[1 - \left(\frac{a}{H}\right)^{j-1}\right] \qquad (3.55)$$

în care: $T = c \cdot \operatorname{ctg}\varphi$ și se determină din *cercul lui Mohr*.

Această ecuație prezintă două discontinuități și anume:

pentru $\varphi = 20°$; $j - 2 = 0$. Ca atare, valoarea primului termen al ecuației este nedeterminată și ecuația devine:

$$P_{iv} = a \cdot \gamma_a \cdot 2{,}3 \cdot \log\frac{H}{a} - T\left[1 - \left(\frac{a}{H}\right)^{j-1}\right]; \qquad (3.56)$$

pentru $\varphi = 0°$; $j - 1 = 0$. Ca atare, termenul al doilea este nedeterminat și ecuația devine:

$$P_{iv} = a \cdot \gamma_a\left[\frac{H}{a} - 1\right] - 4{,}6\ c \cdot \lg\frac{H}{a} \qquad (3.57)$$

Pentru o interpretare corectă a relațiilor stabilite, în continuare se prezintă [illegible] cazuri tipice.

Lucrare minieră săpată la adîncime mică în roci clastice. Dacă se pune problema determinării tensiunilor și mărimii presiunilor în jurul unei lucrări miniere orizontale cu secțiune circulară, săpată într-o rocă granulară lipsită de coeziune, pentru care se consideră că $\sigma_z > \sigma_x$ în următoarele condiții :

— greutatea specifică aparentă a rocilor $\gamma = 1{,}6 \cdot 10^4$ N/m³ ;
— raza lucrării $a = 150$ cm ;
— raza zonei clastice $b = 300$ cm ;
— adîncimea la care este amplasată lucrarea minieră $H = 3000$ cm ;
— unghiul de frecare interioară a rocilor $\varphi = 37°$, se obține :

$$j = 4;\ j - 1 = 3;\ j - 2 = 2;\ i = \frac{1}{4} = 0{,}25;$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0{,}0016 \cdot 3000 = 4{,}8 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_x = \sigma_y = i \cdot \sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4{,}8 = 1{,}2 \text{ daN/cm}^2.$$

În limita zonei clastice, la capetele celor două diametre, tensiunile se calculează cu relațiile :

$$\sigma_{tz} = 3\sigma_z - \sigma_x = 3 \cdot 4{,}8 - 1{,}2 = 13{,}2 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\sigma_{tx} = 3\sigma_x - \sigma_z = 3 \cdot 1{,}2 - 4{,}8 = -1{,}2 \text{ daN/cm}^2;$$

Valoarea tensiunii tangențiale $\sigma_{tx} = -1{,}2$ daN/cm² reprezintă tensiuni de întindere. Datorită faptului că în rocile clastice, unde $c = 0$, nu pot exista tensiuni de întindere, tensiunile vor avea valoarea :

$$\sigma_{tx} = i \cdot \sigma_z = 1{,}2 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea verticală pe susținere se datorește în parte tensiunii radiale necesare pentru oprirea expansiunii zonei clastice, precum și greutății rocii din zona clastică. Astfel se va determina :

$$P_{iAv} = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^3;$$

$$\sigma_{rb} = \sigma_{tx}\frac{1}{2}(1 - \sin\varphi) = 1{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}24 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAv} = 0{,}24 \cdot 0{,}25 = 0{,}03 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta este mărimea presiunii pe susținere, necesară pentru limitarea zonei clastice.

Presiunea verticală asupra susținerii, necesară pentru stabilizarea rocii în zona sfărîmată, datorită greutății acesteia va fi :

$$P_{iBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1 - \left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right] = \frac{3}{2} \cdot \frac{0{,}0016 \cdot 150}{2}\left[1 - \left(\frac{150}{300}\right)^2\right] =$$

$$0{,}18 \cdot 0{,}75 = 0{,}135 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea totală asupra susținerii la cheia bolții va fi :

$$P_{iv} = P_{iAv} + P_{iBv} = 0{,}03 + 0{,}135 = 0{,}165 \text{ daN/cm}^2.$$

Presiunea orizontală la extremitățile diametrului orizontal va fi

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1};$$

$$\sigma_{rBh} = \sigma_{tz} \cdot \frac{1}{2}(1 - \sin\varphi) = 13{,}2\frac{1}{5} = 2{,}65 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{iAh} = 2{,}65 \cdot 0{,}125 = 0{,}33 \text{ daN/cm}^2.$$

Modul de acționare a tensiunilor și presiunilor pentru exemplul studiat este redat în fig. XVI.78.

În cazul studiat anterior, s-a presupus că zona clastică se extinde numai pînă la o distanță oarecare b de la centrul lucrării. Cînd adîncimea la care se sapă lucrarea minieră este foarte mică, este posibil ca zona clastică să se extindă pînă la suprafață. În acest caz, folosind datele anterioare, se va determina pentru $b = 3000$ cm :

$$\frac{a}{b} = \frac{150}{3000} = \frac{1}{20}$$

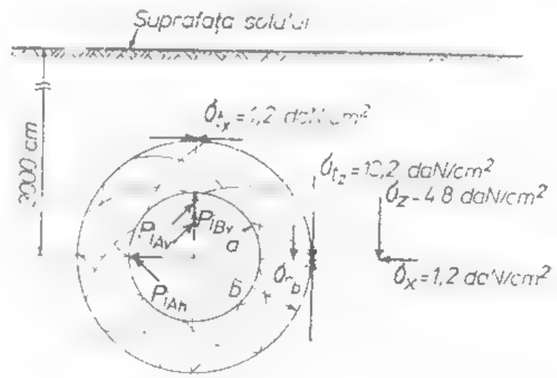


Fig. XVI.78. Mărimea tensiunilor și a presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare.

și deci :

$$P_{iAh} = \sigma_{rBh}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} = 2{,}65\left(\frac{1}{20}\right)^3 = 0{,}000332 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în acest caz, presiunea orizontală asupra susținerii este neglijabilă.

Și în acest caz, presiunea verticală asupra susținerii se compune din $P_{iAv} + P_{iBv}$. Cînd zona elastică se extinde pînă la suprafață și lateral, pe o distanță considerabilă, presiunea verticală P_{iAv} devine atît de mică încît ea poate fi neglijabilă. În consecință, presiunea verticală care va acționa asupra susținerii va fi dată numai de parte a doua a ecuației și anume

$$P_{iBv} = \frac{3}{2}\,\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right] = \frac{3}{2}\cdot\frac{0{,}0016\cdot 150}{2}\left[1-\left(\frac{1}{20}\right)^{2}\right] =$$

$$0{,}1795 \text{ daN/cm}^2.$$

Presupunînd, deci, că zona elastică se va extinde pînă la suprafață, presiunea verticală asupra susținerii se va apropia de valoarea limită minimă de 0,18 daN/cm², indiferent de adîncimea lucrării față de suprafață. Pentru cazul cînd $\frac{b}{a} > 3$, termenul $\left[1-\left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right]$ poate fi neglijat și atunci ecuația devine

$$P_v = \frac{3}{2}\cdot\frac{\gamma_a \cdot a}{j-2}$$

Această mărime reprezintă presiunea la cheia bolții, presiune care descrește pe măsura apropierii de capetele diametrului orizontal.

Pînă în prezent problema a fost studiată pentru cazul cînd roca nu posedă nici un fel de coeziune. În cazul în care roca mai posedă o oarecare coeziune — caz care se întîlnește mai frecvent — atunci tensiunea tangențială se reduce ca valoare, iar tensiunea radială necesară pentru echilibru se va reduce și ea în mod proporțional.

Dacă se presupune că roca mai posedă o coeziune de 0,244 daN/cm², ceea ce corespunde (pentru $\varphi = 37°$) unei rezistențe de rupere la compresiune de :

$$Q = 2c\,\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi} = 2\cdot 0{,}244\,\frac{0{,}8}{1-0{,}6} = 0{,}88 \text{ daN/cm}^2.$$

considerînd condiții similare ca și în cazul anterior unde $\sigma_t = 13{,}22$ daN/cm², rezultă :

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q)\,\frac{1}{2}\,(1-\sin\varphi) = (13{,}2 - 0{,}88)\cdot 0{,}2 = 2{,}46 \text{ daN/cm}^2$$

Se observă că tensiunea radială se reduce de la 2,65 daN/cm² la 2,46 daN/cm², ceea ce reduce mărimea presiunii cu circa 7%, reducere care este foarte mică.

Din datele problemei anterioare rezultă că lucrarea minieră este stabilă fără a necesita nici un fel de susținere, dacă roca are o rezistență de minimum 13,2 daN/cm². Această condiție este îndeplinită de argilele dure, șisturi etc.

Lucrare minieră săpată la adîncime mare, în roci rezistente cu coeziune mare. Pînă în prezent a fost studiată și determinată mărimea presiunii asupra susținerii în cazul unor lucrări miniere situate la adîncime mică, în roci sedimentare lipsite total de coeziune sau cu coeziune mică. Concluzia la care s-a ajuns a fost că, pentru adîncimi mici, dacă roca îndeplinește anumite condiții de rezistență, lucrarea minieră nu trebuie să fie prevăzută

cu o susținere de rezistență. La adîncimi mari față de suprafață apar roci a căror rezistență la compresiune depășește valoarea de 1000—1500 daN/cm², caz în care se poate considera că aceste roci au o comportare elastică. În acest caz tensiunile tangențiale de compresiune la marginile orificiului circular ating valori de $(2 \div 3)\sigma_z$. Este evident că forfecarea rocii va avea loc pentru cazul în care tensiunile tangențiale depășesc rezistența de rupere la compresiune a rocii, adică :

$$3\sigma_z > Q.$$

Pentru o rocă care are o rezistență de rupere la compresiune de 900 daN/cm², rezistența rocii va fi depășită cînd $\sigma_z > 300$ daN/cm².

Considerînd o greutate specifică aparentă de 0,0017 daN/cm³, tensiunea tangențială creată la marginea lucrării circulare va întrece rezistența rocii cînd lucrarea minieră se va afla la o adîncime egală sau mai mare de : $H \geqslant \frac{\sigma_z}{\gamma_a} = \frac{300}{0{,}0017} = 1764$ m.

Pentru a putea determina mărimea presiunii, se consideră o lucrare minieră circulară amplasată la o adîncime de 1800 m în rocă masivă, cu următoarele caracteristici :

rezistența de rupere la compresiune $Q = 700$ daN/cm² ;

unghiul de frecare interioară $\varphi = 55°$; și $\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} = j = 10$;

celelalte date sînt identice cu cele din exemplul precedent.

În momentul ruperii, pentru cazul cînd roca este supusă la compresiune triaxială, se folosește relația :

$$\sigma_1 = Q + j\sigma_3.$$

În acest caz

$$\sigma_z = 1800\cdot 1{,}7 = 306 \text{ daN/cm}^2 ;$$

$$\sigma_t = 3\sigma_z = 3\cdot 306 = 918 \text{ daN/cm}^2.$$

La limita zonei elasto-elastice se poate scrie relația de echilibru :

$$\sigma_{rb} = \frac{\sigma_{te}}{2}(1-\sin\varphi) = \frac{\sigma_{te}}{2}(1-0{,}82) = 0{,}09\cdot\sigma_{te}.$$

Dar σ_{te} reprezintă numai o parte a tensiunii tangențiale, limită care întrece rezistența rocii :

$$\sigma_{te} = \sigma_t - Q = 918 - 700 = 218 \text{ daN/cm}^2 ;$$

$$\sigma_{rb} = 0{,}09\,\sigma_{te} = 0{,}09\cdot 218 = 19{,}62 \text{ daN/cm}^2.$$

Aceasta arată că prin aplicarea pe conturul lucrării a unei reacțiuni de 19,62 daN/cm² poate fi prevenit fenomenul de forfecare a rocilor. Cu toate acestea nu se poate recurge la montarea unei susțineri care să reziste la 19,62 daN/cm², chiar dacă ea ar putea fi montată destul de repede pentru a preveni forfecarea. În consecință, dacă se va monta o susținere capabilă să reziste la o tensiune de 0,5 daN/cm², forfecarea se va extinde repede pînă la distanțe ;

$$P_{iAv} = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1}$$

sau :

$$P_{tAv} = 19{,}62 \left(\frac{a}{b}\right)^8 = 0{,}5 \text{daN/cm}^2; \text{ de aici } b = 1{,}5\ a$$

Cu alte cuvinte, forfecarea se va extinde pînă la o distanță de 0,5 a de la margine, ceea ce echivalează cu circa 73 cm, distanță care este capabilă să reducă presiunea asupra susținerii la valori acceptabile. Această presiune, de 0,5 daN/cm², va fi exercitată în partea superioară a susținerii, datorită greutății rocilor din zona clastică.

Valoarea presiunii în vîrful bolții va fi :

$$P_{tBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\gamma_a a}{j-2} \left[1 - \left(\frac{a}{b}\right)^{j-2}\right] - \frac{3}{2} \cdot \frac{0{,}0016 \cdot 150}{8} \left[1 - \left(\frac{1}{1{,}5}\right)^8\right] \cong$$

$$\cong 0{,}046 \text{ daN/cm}^2$$

Presiunea verticală totală va fi :

$$P_b = 0{,}5 + 0{,}046 = 0{,}546 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, susținerea va avea rol de portanță, limitînd extinderea zonei de forfecare, fenomen ce poate fi ilustrat grafic (fig. XVI.79, a).

Presiunea asupra susținerii poate fi mult redusă, dacă se permite o relaxare mai accentuată a rocii, adică o extindere a zonei sfărîmate pe o distanță mai mare. Aceasta

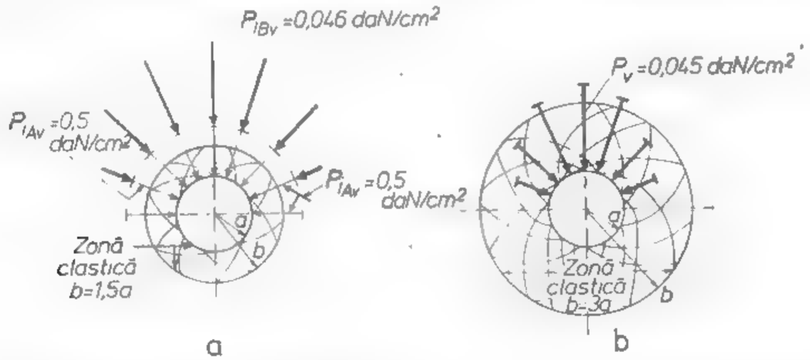


Fig. XVI.79. Mărimea presiunilor în jurul unei lucrări miniere circulare :
a—cînd $b=1{,}5a$; b—cînd $b=3a$.

presupune montarea unei susțineri care să lucreze la început elastic, iar după o perioadă de timp, rigid. Așa, de exemplu, pentru $b = 3a$ rezultă :

$$P_{tAv} = 19{,}62 \left(\frac{150}{450}\right)^8 = 0{,}0011 \text{ daN/cm}^2;$$

$$P_{tBv} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0{,}0016 \cdot 150}{8} \cdot 1 = 0{,}044 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, presiunea totală va fi :

$$P_v = 0{,}0011 + 0{,}044 = 0{,}0451 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd zona sfărîmată s-a extins de la $b = 1{,}5\ a$ la $b = 3a$ presiunea a scăzut de la 0,546 daN/cm² la 0,0451 daN/cm², fenomen ilustrat în fig. XVI.79, b.

În exemplul precedent a fost analizată posibilitatea extinderii zonei clastice, cu scopul de a reduce presiunea pe susținere.

Din același exemplu s-a constatat că formarea zonei sfărîmate nu poate fi total evitată. În concordanță cu același exemplu, s-ar părea că pentru obținerea unei presiuni minime asupra susținerii este necesar ca zona clastică să se extindă la maxim. Obținînd în acest caz o presiune minimă, se va putea monta o susținere cu o portanță scăzută și deci cu costuri reduse. Dar, în același timp, cantitatea de rocă excavată din lucrare — pentru a obține în final o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite — va crește foarte mult, datorită afînării rocilor din zona clastică, avînd drept consecință creșterea costului de săpare a lucrării.

În consecință, pentru a avea o lucrare minieră cu dimensiuni dinainte stabilite, după ce rocile s-au stabilizat, excavarea inițială se va face la dimensiuni ceva mai mari decît dimensiunea finală. Corelația dintre costul de săpare și cel de susținere, în condițiile cele mai economice, poate fi determinată prin calcule.

Reducerea diametrului unei lucrări circulare în scopul micșorării presiunii pînă la valori admisibile se determină astfel (fig. XVI.80) :

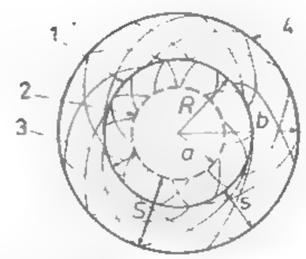


Fig. XVI.80. Micșorarea diametrului lucrării miniere circulare prin creșterea zonei sfărîmate :

1 — diametrul inițial al lucrării ; 2 — diametrul final după stabilizare ; 3 — reducerea secțiunii după stabilizare ; 4 — zona elastică după stabilizare.

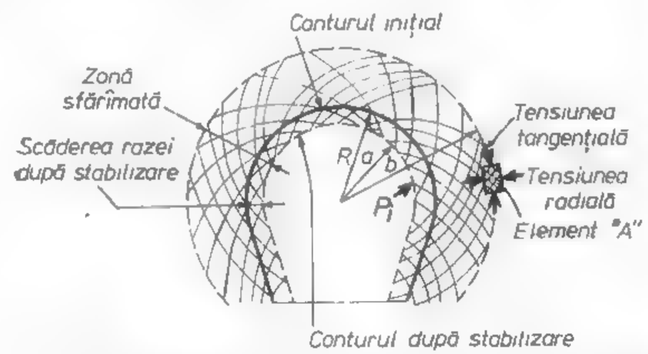


Fig. XVI.81. Formarea zonei de tensiuni reduse cînd lucrarea minieră este susținută cu o susținere elastică :

R — raza inițială ; a — raza finală ; b — raza zonei sfărîmate ; p_i — secțiunea susținerii.

Pentru o lungime de 1 m pe direcție rezultă :

$$V_b \quad b^2 ;$$

$$V_s \quad (b^2 - R^2).$$

Prin sfărîmarea rocii din zona elastică (coroana circulară a), aceasta își va mări volumul :

$$V_s = (b^2 - R^2)\,K$$

$$a^2 = V_a = V_b - V_s = b^2 - K(b^2 - R^2) = b^2 - K(b^2 - R^2)$$

$$a^2 = \frac{V_a}{\pi^2} - b^2 - K(b^2 - R^2)$$

Pentru un coeficient de afînare $K = 1,1$ și pentru datele problemei precedente, în care zona elastică a fost lăsată să se extindă pînă la distanța de 1,5 a de la centru expansiune care a permis reducerea presiunii pînă la 0,5 daN/cm², raza inițială fiind de 150 cm; se pune problema determinării razei (a) după stabilizare, cît și a volumului de rocă care trebuie excavat în plus. În acest caz :

$$a^2 = b^2 - K(b^2 - R^2) = 2,25^2 - 1,1(2,25^2 - 1,50^2) = 2\,;$$

$$a = \sqrt{2} \cong 1,42\,;$$

$$R - a = 1,50 - 1,42 = 0,08 \text{ m} = 8 \text{ cm}.$$

Deci, după stabilizarea rocilor, diametrul a scăzut de la 3 m la 2,84 m, ceea ce nu va incomoda nici transportul de personal și nici pe cel de material prin lucrarea minieră. În acest caz, volumul de rocă ce va fi excavat în plus va fi de

$$V' = V'_s - V_s = \pi(b^2 - R^2)((K - 1) = 3,14(2,25^2 - 1,5^2)(1,1 - 1) = 0,92 \text{ m}^3.$$

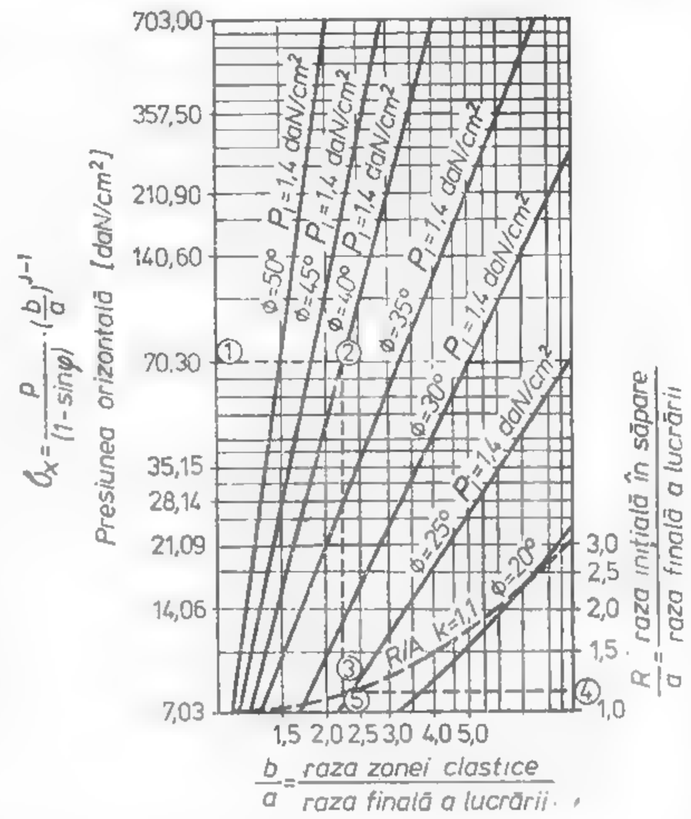
Dacă zona elastică ar fi lăsată să se extindă pînă la $b = 3\,a$, pentru a reduce și mai mult presiunea pe susținere — presiunea calculată în exemplul precedent — s-ar produce o reducere a diametrului de la 3 m la 1,62 m, cu un volum de rocă excavată în plus de 5,8 m³, reprezentînd circa 80% față de volumul inițial, caz în care lucrarea minieră nu ar mai corespunde cerințelor impuse de faza inițială. În conecință, soluția practică ar consta în montarea unei susțineri cu o portanță suficient de mare care să producă o stabilizare a rocilor, după ce zona elastică s-a extins pe o distanță pînă la 1,5 a de centrul orificiului.

Pentru a putea generaliza problema pusă în discuție, respectiv pentru a putea determina cu rapiditate dimensiunile de săpare ale unei lucrări miniere cînd aceasta este susținută cu o susținere elastică, astfel încît după stabilizare să se obțină dimensiunile dinainte stabilite, se consideră o lucrare minieră susținută cu o susținere elastică (fig XVI. 81).

Dacă se consideră un element A, care se găsește în afara zonei sfărîmate, se poate scrie condiția de echilibru a acestui element, condiție care exprimă relația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară a rocilor în care se sapă lucrarea și raza zonei sfărîmate. Pentru ușurință, această corelație este redată sub forma unei diagrame (fig. XVI.82).

Pentru exemplificare, se presupune că lucrarea minieră este săpată la o adîncime de 440 m într-o rocă care are unghiul de frecare interioară de 40°. La această adîncime se creează o presiune orizontală de 70,3 daN/cm², punctul *1*. De la acest punct se duce o orizontală pînă se întîlnește dreapta care reprezintă unghiul de frecare interioară de 40° — punctul *2*. De aici se duce o verticală pînă la intersecția acesteia cu curba R/A, obținîndu-se punctul *3*. Din acest punct, pe orizontală se obține punctul *4*, pentru care raportul $R/a = 1,15$. Deci raza lucrării miniere în săpare trebuie să fie de 1,15 ori mai mare decît raza proiectată a lucrării, pentru a permite o corectă interacțiune între rocă și susținerea

Fig. XVI.82. Corelația dintre diametrul lucrării, unghiul de frecare interioară și raza zonei sfărîmate. →



elastice. Astfel, dacă raza finală a lucrării trebuie să fie de 150 cm, adică să aibă un diametru de 300 cm, diametrul inițial în săpare trebuie să fie de 300 · 1,15 = 345 cm, caz în care se va realiza un echilibru perfect între rocă și susținerea elastică. Graficul din fig. XVI.82 a fost întocmit în ipoteza că susținerea elastică va opune o reacțiune de 1,4 daN/cm². Dacă din punctul 3 se continuă verticala în jos, se va obține raportul dintre raza zonei elastice și raza lucrării miniere.

Tunel minier săpat la adîncime mică, în argile. Se consideră că o lucrare minieră circulară — tunel — a fost săpată într-un șist argilos cu $\sigma_a = 0,00176$ daN/cm³; $c = 0,68$ daN/cm² și $\varphi = 20°$. Adîncimea față de suprafață a fost de $H = 36,6$ m, iar raza lucrării $a = 5,5$ m.

Pentru $\varphi = 20°$; $j = 2$; $j - 2 = 0$ se obține

$$p_i = a \cdot \gamma_a \, 2,3 \log \frac{H}{a} - c\left[1 - \left(\frac{a}{H}\right)^{j-1}\right] \cong 0,23 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru cazul cînd lucrarea minieră este săpata în argile saturate; caz pentru care $\varphi = 0$, și considerînd celelalte date avînd valorile

$\gamma_a = 0,0019$ daN/cm³; $c = 0,1$ daN/cm²; $H = 2000$ cm; $a = 200$ cm;

se obține : $p_i = a \cdot \gamma_a \left[\frac{H}{a} - 1\right] - 4,6\, c \lg \frac{H}{a} \cong 3$ daN/cm².

Exactitatea rezultatelor obținute depinde de exactitatea determinării parametrilor de stare fizică și mecanică.

Din rezultatele obținute se constată că presiunea asupra susținerii la tavan — reprezintă circa 80% din valoarea presiunii maxime, presiune care în timp poate atinge chiar valoarea maximă ($\gamma_a \cdot H$).

3.3.1.2. Presiunea laterală

P. M. Ţ i m b a r e v i c i presupune că presiunea laterală asupra pereţilor unei lucrări miniere este suma presiunii active asupra pereţilor, a prismelor m şi a încărcăturii de deasupra acestor prisme. Astfel, dacă se ia o lucrare minieră de formă dreptunghiulară cu lăţimea de $2a$ şi înălţimea h (fig. XVI. 83), presiunea laterală este dată de presiunea activă a prismelor m care sînt încărcate cu greutatea elementelor parabolice n, rezultînd

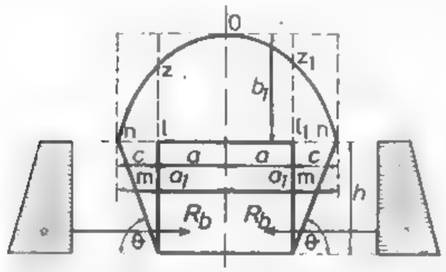


Fig. XVI.83. Schema de calcul a presiunii laterale(după P. M. Ţimbarevici

Înălţimea de încărcare a prismelor laterale h_0

$$h_0 = \frac{\gamma_{a1}}{\gamma_a} \cdot \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} \qquad (3.58)$$

Mărimea presiunii laterale:

$$R_b = \frac{\gamma_a \cdot h}{2} \cdot \frac{2\gamma_{a1}}{\gamma_a} \cdot \frac{a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi}{2}}{\operatorname{tg} \varphi_1} + h \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2} \qquad (3.59)$$

În practică, presiunile laterale asupra pereţilor lucrărilor subterane se iau în consideraţie pentru rocile la care $f = \operatorname{tg} \varphi \leqslant 2$.

La o rezistenţă mai mare a rocilor, presiunile laterale care iau naştere în jurul lucrărilor miniere sînt neglijabile.

Astfel, pentru o lucrare minieră care are lăţimea $2a = 4{,}5$ m, şi înălţimea $h = 3$ m, avînd în tavan roci cu $\gamma_{a1} = 2500$ daN/cm³ şi $\varphi_1 = 72^\circ$ şi în pereţi roci cu $\gamma_a = 2300$ daN cm³ şi $\varphi = 64^\circ$, presiunea laterală va fi:

$$h_0 = \frac{2{,}5}{2{,}3} \cdot \frac{2{,}25 + 3{,}0 \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + 64^\circ}{2}}{\operatorname{tg} 72^\circ} \approx 1{,}4 \text{ m};$$

$$R_b = \frac{2300 \cdot 3{,}0}{2} (2 \cdot 1{,}4 + 3{,}0) \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 64^\circ}{2} \approx 1050 \text{ daN/m} = 350 \text{ daN/m}^2$$

3.3.1.3. Presiunea din vatră

P. M. Ţ i m b a r e v i c i, acceptînd o schemă de manifestare a presiunii ca în fig. XVI. 84, stabileşte:

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mişcare a rocilor:

$$x_0 = \frac{H_1 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)} \qquad (3.60)$$

— diferenţa dintre presiunea activă şi pasivă:

$$D_0 = R_0 - Q_0$$

$$= \frac{1}{2} \gamma_a \left[(x_0^2 + 2 x_0 H_1) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) - x_0^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \right.$$

Valoarea presiunii din vatră (N) este dată de relaţia:

$$N = D \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right).$$

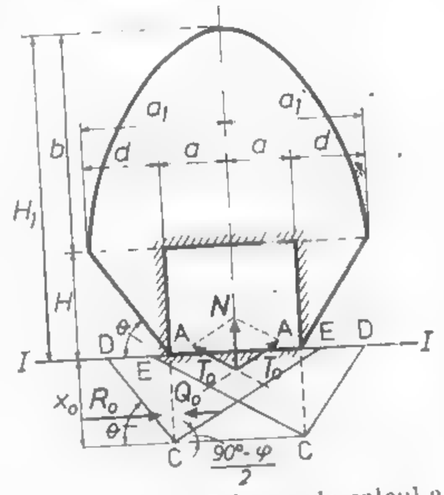


Fig. XVI.84. Schema de calcul a presiunii din vatră la o lucrare minieră cu profil dreptunghiular fără susţinere (după P. M. Ţimbarevici).

Astfel, pentru o lucrare cu înălţimea $H = 2{,}5$ m şi cu lăţimea $2a = 3{,}5$m, săpată într-o argilă umedă cu $\varphi = 25^\circ$ şi $\gamma_a = 2000$ daN/m³, se poate determina:

— înălţimea bolţii parabolice:

$$b = \frac{1{,}75 + 2{,}50 \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + 25^\circ}{2}}{\operatorname{tg} 25^\circ} \approx 7{,}2 \text{ m};$$

$$H_1 = H + b = 2{,}5 + 7{,}2 = 9{,}7 \text{ m}$$

— adîncimea pînă la care se manifestă fenomenul de mişcare a rocilor este:

$$x_0 = \frac{9{,}7 \operatorname{tg}^4 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2}}{1 - \operatorname{tg}^4 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2}} \approx 1{,}9 \text{ m}$$

$$D_0 = \frac{1}{2} \cdot 2(1{,}9^2 + 2 \cdot 1{,}9 \cdot 9{,}7) \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ - 25^\circ}{2} - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1{,}9^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{90^\circ + 25}{2} = 7700 \text{ daN/m}.$$

Presiunea din zona f_1:

$$N = 7700 \operatorname{tg}^2 \frac{(90° - 28°)}{2} = 1400 \text{ daN/m}^2$$

Fenomenul presiunilor din vatră se manifestă în special la rocile argiloase cu proprietăți de umflare.

3.3.2. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA LUCRĂRILOR MINIERE VERTICALE

Problema determinării presiunii asupra susținerii puțurilor verticale este una dintre cele mai dificile probleme din domeniul minier și care nu a găsit încă o soluționare complet mulțumitoare din punct de vedere teoretic.

Pe parcursul dezvoltării științei miniere, au fost create o serie de ipoteze referitoare la presiunea asupra susținerii puțurilor, ipoteze care pot fi împărțite arbitrar în două grupe distincte:

interpretarea presiunii rocilor și a naturii ei cu ajutorul unor scheme simplificate (ipoteze aproximative);

- studiul mecanismului interacțiunii dintre rocă și susținere, cunoașterea tensiunilor în rocă și susținere și analiza mișcării rocilor din jurul puțului.

Prima grupă este caracterizată prin aceea că ea consideră presiunea rocilor ca o sarcină statică, de o anumită valoare, pentru preluarea căreia trebuie ales un anumit tip de susținere.

F r i t z M o h r înglobează toate ipotezele referitoare la această etapă sub denumirea generală de *ipoteza forțelor*, din cadrul căreia cele mai adecvate pentru lucrările miniere verticale sînt ipotezele care admit lipsa presiunilor în cazul rocilor rezistente, dintre care:

- ipoteza restabilirii tensiunii naturale a masivului de roci;
- ipoteza bolții.

A doua grupă este caracterizată prin *ipoteza deformațiilor*, potrivit căreia presiunea asupra susținerii se dezvoltă și se restabilește în urma unei interacțiuni complexe, care are loc între susținere și rocă. Susținerea în acest sistem ocupă o poziție de echilibrare cu masivul de roci și influențează asupra manifestării presiunilor.

3.3.2.1. Ipoteza forțelor

Ipoteza restabilirii stării de tensiune în jurul puțului. Potrivit acestei grupe de ipoteze, presiunea asupra susținerii puțului corespunde tensiunilor împingerii laterale a masivului de rocă și se exprimă cu relația

$$P = \lambda \cdot \gamma_a \cdot H$$

în care

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) \tag{3.61}$$

Particularitatea acestei ipoteze o constituie recunoașterea dependenței liniare a presiunii rocilor în funcție de adîncime. Întrucît mărimea coeficientului de împingere late-

în masivul de roci nu se cunoaște, sînt emise diferite păreri. În mod corespunzător sînt emise o serie de considerente și asupra valorii presiunii rocilor asupra susținerii puțului.

Astfel, pornind de la teoria lui *Kulon*, P r o t o d i a k o n o v consideră că în jurul puțului se formează prisme care se deplasează pe plane de alunecare spre susținerea puțului și care dezvoltă o presiune dată de relația

$$P = \gamma_a \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right). \tag{3.62}$$

Dacă puțul străbate strate cu grosimi diferite: $h_1, h_2 \ldots h_n$, avînd coeficienți de tărie diferiți: $f_1, f_2, \ldots f_n$, valoarea medie a coeficientului de tărie se va calcula cu relația

$$f_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i f_i}{H} = \operatorname{arc\,tg} \cdot f_{med}. \tag{3.63}$$

Dacă se consideră un puț vertical cu adîncimea de 150 m, săpat într-o formațiune de roci omogene cu $f = \operatorname{tg} \varphi = 4$ și $\gamma_a = 3000$ daN/m³, presiunea pe unitatea de suprafață a peretelui puțului este:

$$P = \gamma \cdot H \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) =$$

$$2000 \cdot 150 \cdot 0{,}123^2 = 4500 \text{ daN/m}^2.$$

P. M. Ț i m b a r e v i c i admite posibilitatea unei analogii directe dintre tensiunile existente în roci și presiunea manifestată asupra susținerii, considerînd că *susținerea rigidă restabilește starea inițială de tensiune a rocilor*. Conform acestei ipoteze se consideră că în fiecare strat se formează prisme de alunecare (fig. XVI. 85), care suportă la rîndul lor greutatea coloanei de roci acoperitoare. Formula generală de calcul propusă de *Țimbarevici* este

$$P = \sum_{i=1}^{n} \gamma_{ai} \cdot h_i \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\beta}{2}\right). \tag{3.64}$$

$$i = 1, 2, 4 \ldots n,$$

în care β reprezintă unghiul de rezistență interioară a rocilor.

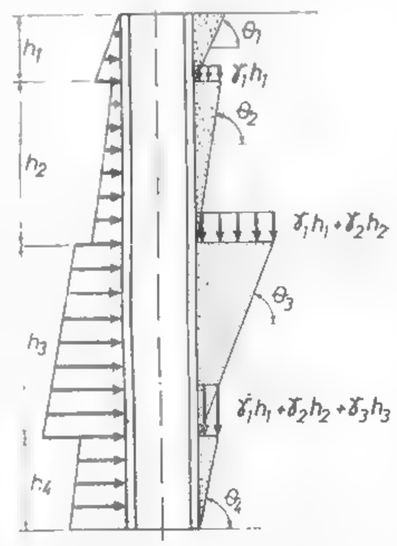


Fig. XVI.85. Schema de calcul a presiunii asupra unei lucrări miniere verticale (după P. M. Țimbarevici).

Deoarece, în general, rocile în care se sapă puțul au proprietăți fizice și mecanice diferite, autorul recomandă pentru calculul presiunii pe unitatea de suprafață a peretelui relația

$$P = \gamma_{an} \left[\frac{\gamma_{a1}}{\gamma_{an}} h_1 + \frac{\gamma_{a2}}{\gamma_{an}} h_2 + \ldots \frac{\gamma_{an-1}}{\gamma_{an}} h_{n-1} + h_n \right] \operatorname{tg}^2 \left(45° - \frac{\beta}{2}\right) \tag{3.65}$$

Pentru ușurarea calculelor referitoare la mărimea presiunii, în tabelul XVI. 28 se dau valorile coeficientului împingerii laterale.

Tabelul XVI.28

Valorile coeficientului împingerii laterale $tg^2(45° - \varphi/2)$ în funcție de unghiul de frecare interioară.

Natura rocilor	Caracteristicile rocilor			Coeficientul împingerii laterale $tg^2(45° - \varphi/2)$	
	Rezistența la compresiune daN/cm² σ_c	Volumul porilor [%]	Unghiul de frecare interioară, $\varphi°$	Valori limită	Media
Roci acvifere	—	—	0—18°	1,0—0,64	0,76
Roci mobile	—	—	18—26°,34′	0,64—0,5	0,53
Roci f. moi	—	—	26°34′—50°	0,6—0,29	0,39
Roci moi	20—100	40—10	—	0,297—0,031	0,164
Roci de tărie medie	100—400	10—3	—	0,031—0,008	0,017
Roci tari	400—1600	3—0,5	—	0,008—0,002	0,004
Roci foarte tari	1600—2000	0,5—0	—	0,002—0,0007	0,0012

Dacă se consideră că un puț vertical traversează un pachet de strate care de sus în jos au următoarele caracteristici

— stratul I $h_1 = 20$ m... $\gamma_{a1} = 2000$ daN/m³

— stratul II $h_2 = 10$ m... $\gamma_{a2} = 1600$ daN m³

— stratul III $h_3 = 10$ m... $\gamma_{a3} = 2000$ daN/m³

— stratul IV $h_4 = 160$ m... $\gamma_{a4} = 2400$ daN/m³,

presiunea pe diferitele tronsoane este:

stratul IV, partea de jos:

$$p_4' = 2,4\left(160 + \frac{2,0}{2,4}\cdot 10 + \frac{1,6}{2,4}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,4}\cdot 20\right)\cdot 0,017 = 7,800 \text{ daN/m}^2.$$

partea de sus:

$$p_4'' = 2,4\left(\frac{2,0}{2,4}\cdot 10 + \frac{1,6}{2,4}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,4}\cdot 20\right)0,017 = 1,290 \text{ daN/m}^2$$

stratul III, partea de jos.

$$p_3' = 2,0\left(10 + \frac{1,6}{2,0}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,0}\cdot 20\right)0,387 = 29,400 \text{ daN/m}^2$$

partea de sus:

$$p_3'' = 2,0\left(\frac{1,6}{2,0}\cdot 10 + \frac{2,0}{2,0}\cdot 20\right)0,387 = 21,670 \text{ daN/m}^2$$

stratul II, partea de jos:

$$p_2' = 1,6\left(10 + \frac{2,0}{1,6}\cdot 20\right)0,757 = 42,000 \text{ daN/m}^2;$$

partea de sus

$$p_2'' = 1,6\,\frac{2,0}{1,6}\cdot 20\cdot 0,757 = 30,000 \text{ daN/m}^2;$$

stratul I, partea de jos

$$p'_1 = 2,0\cdot 20\cdot 0,387 = 15,480 \text{ daN/m}^2.$$

Conform acestor rezultate, poate fi construită epura presiunilor, de unde se observă că stratul II, deși se află mai aproape de suprafață, dezvoltă o presiune cu mult mai mare asupra susținerii decît stratul IV, care se găsește la adîncime mai mare.

K. V. Pavlov a propus o formulă de calcul bazată pe unele experiențe, care au arătat că valoarea presiunii litostatice asupra puțurilor variază în funcție de diametrul acestuia, direct proporțional cu expresia $\frac{\sqrt[3]{D+1}}{2}$. Presiunea asupra pereților puțului după acest autor este dată de relația

$$P = \gamma_{an}(h_n + h_0)^3\cdot\frac{\sqrt[3]{D+1}}{2}\,tg^2\left(45° - \frac{\varphi°}{2}\right), \qquad (3.66)$$

în care: D reprezintă diametrul puțului sau latura cea mai mare a acestuia. Astfel, pentru un puț cu adîncimea de 200 m și diametrul de 6 m, săpat într-o rocă omogenă cu $\varphi = 68°40'$ și $\gamma_a = 2750$ daN/m³, presiunea va fi

$$P = \frac{1}{2}\cdot 2,75\cdot 200\sqrt[3]{6+1}\cdot tg^2\cdot 10°40' = 18\,380 \text{ daN/m}^2.$$

3.3.2.2. Ipoteza deformațiilor

Înainte de tratarea anumitor procedee de calcul care aparțin acestei grupe, este necesar să se arate care este mecanismul interacțiunii dintre rocă și susținere avînd în vedere că acest grup de ipoteze iau în considerare reacțiunea susținerii.

Mecanismul interacțiunii susținerii cu masivul de roci se poate prezenta grafic cu ajutorul diagramei din fig. XVI. 86, unde curba *1* caracterizează presiunea radicală la suprafața lucrării, în funcție de valoarea deplasării rocilor (U_a). Curba *1* se întretaie cu axa p în punctul de ordonată $\lambda_a \gamma_a h$, care corespunde tensiunilor în masivul monolit de roci.

După realizarea excavației, pînă la montarea susținerii, conturul puțului suferă o oarecare deplasare radială U_0, după care are loc montarea susținerii cu caracteristica *2*. Mărimea deplasărilor U_s caracterizează comportarea simultană a susținerii și a masivului, atunci cînd susținerea se opune acțiunii presiunii rocilor. Punctul *A* corespunde stării echilibrului static și a presiunii stabilizate. Susținerea cu caracteristica *3* va suporta o presiune mai redusă, ceea ce denotă că presiunea depinde în măsură hotărîtoare de rigiditatea susținerii.

Astfel, elementele deplasării sînt legate între ele prin relația

$$U_t = U_0 + U_s. \tag{3.67}$$

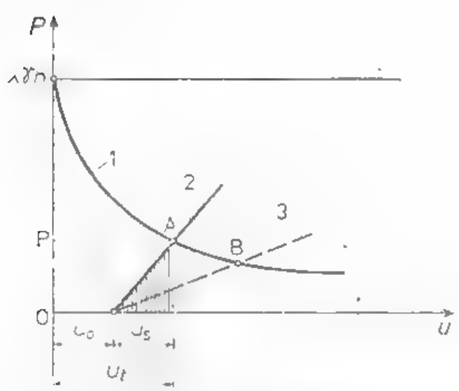


Fig. XVI.86. Mecanismul interacțiunii dintre rocă și susținere.

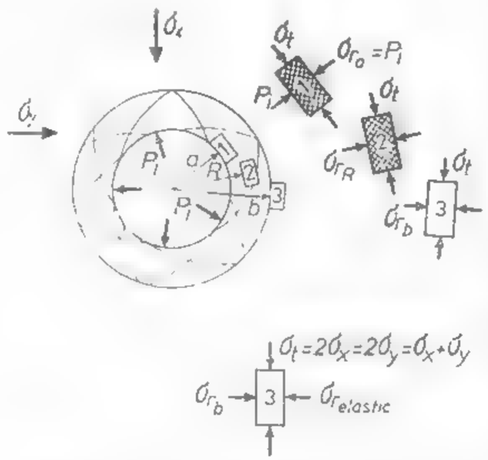


Fig. XVI.87. Starea de echilibru a unei particule din jurul unei lucrări miniere verticale în ipoteza lui Labasse.

Plecînd de la aceste considerente, F e n n e r analizează echilibrul unui element care se află în interiorul zonei de tensiuni reduse și pe conturul exterior al acesteia (fig. XVI. 87.)

Punînd condiția $\sigma_1 = Q = p\sigma_3$, stabilește relația presiunii sub forma:

$$p_i = \sigma_x(1 - \sin\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} \tag{3.68}$$

Analizînd raționamentul prezentat de *Fenner*, L a b a s s e a dat o interpretare deosebită valorii presiunii. Autorul a remarcat că presiunea asupra susținerii are valoarea cea mai mare la începutul formării zonei de fisurare sau curgere, cînd ($b = a$), adică

$$P_{max} = \sigma_x(1 - \sin\varphi). \tag{3.69}$$

După *Labasse*, puțul este înconjurat de trei zone:

zona de tensiuni reduse;

zona tensiunilor mărite, care delimitează zona de curgere sau sfărîmare;

zona elastică, în care tensiunile pe măsura îndepărtării de pe conturul puțului, se apropie de tensiunile din masiv.

Labasse a dezvoltat ipoteza sfărîmării, rezolvînd distribuirea tensiunilor din jurul puțului pentru condițiile cînd roca din zona sfărîmată mai dispune și de o oarecare coeziune, stabilind relația:

$$p_i = (\sigma_x + c\,\mathrm{ctg}\varphi)(1 - \sin\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} - c\,\mathrm{ctg}\varphi \tag{3.70}$$

K. V. R u p e n e i t a întocmit un studiu analog problemei interacțiunii rocilor cu susținerea puțului cu ajutorul funcțiilor tensiunilor.

Acesta dezvoltă ipoteza sfărîmării, determinînd deplasarea rocilor de pe conturul puțului, în funcție de raza zonei deformațiilor neelastice care se găsesc în condiția deplasărilor continue, la limita dintre domeniul deformațiilor neelastice și elastice, ajungînd la expresia:

$$p_i = (1 - \sin\varphi)\, j - c\,\mathrm{ctg}\varphi \left(\frac{a \cdot \sin\varphi}{U_a \cdot 2G}\right)^{\frac{1}{1-\sin\varphi}} - c\,\mathrm{ctg}\varphi \tag{3.71}$$

Această expresie este analogă cu formula lui *Labasse*, cu deosebirea că presiunea este dată în funcție de deplasarea pereților (U_a) și nu în funcție de raza zonei de sfărîmare.

Pentru exemplificare, se prezintă în continuare cîteva cazuri mai deosebite care pot fi rezolvate după ipoteza lui *Fenner-Labasse*.

Puț vertical săpat la adîncime mică în roci elastice. Dacă se consideră că un puț vertical circular cu raza de $a = 150$ cm este săpat pînă la adîncimea $H = 3000$ cm, în roci lipsite de coeziune, cu $\gamma_a = 0{,}0016$ daN/cm³ și $\varphi = 37°$, se poate determina

$$j = 4;\ j - 1 = 3;\ i = \frac{1}{4};$$

$$\sigma_z = \gamma_a \cdot H = 0{,}0016 \cdot 3000 = 4{,}8 \text{ daN/cm}^2.$$

Se presupune că starea de tensiune este uniform repartizată pe circumferința puțului și deci $\sigma_x = \sigma_y$

$$\sigma_x = \sigma_y = i\sigma_z = \frac{1}{4} \cdot 4{,}8 = 1{,}2 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz tensiunea tangențială va fi

$$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2 \cdot 1{,}2 = 2{,}4 \text{ daN/cm}^2.$$

Mărimea tensiunii radiale, conform ipotezei lui *Fenner-Labasse*, va fi

$$\sigma_{rb} = \sigma_t \left(\frac{1}{2}\right)(1 - \sin\varphi) = 2{,}4 \cdot 0{,}2 = 0{,}48 \text{ daN/cm}^2$$

Presupunînd că susținerea cedează suficient pentru a permite zonei sfărîmate să se extindă pînă la distanța $b = 1{,}5\ a$ de la centrul puțului, presiunea va fi

$$p_i = \sigma_{rb}\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} = 0{,}48\left(\frac{150}{225}\right)^3 = 0{,}48 \cdot 0{,}3 = 0{,}144 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă susținerea cedează mai mult, permițînd înaintarea zonei sfărîmate pînă la distanța $b = 2a$, presiunea va fi:

$$p_i = 0{,}48\left(\frac{1}{2}\right)^3 = 0{,}06 \text{ daN/cm}^2$$

Din calculele efectuate, se constată că presiunea asupra susținerii este cu atît mai mică cu cît raza zonei sfărîmate este mai mare, fapt ilustrat în fig. XVI. 88.

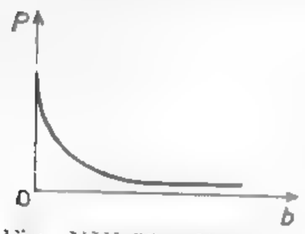


Fig. XVI.88. Variația presiunii în funcție de mărimea fazei sfărîmate.

În acest caz, susținerea trebuie să cedeze suficient pentru a permite formarea acestei zone. În condițiile din practică, creșterea razei zonei sfărîmate este însoțită de creșterea volumului de rocă care trebuie excavată în plus la săparea puțului. Deci, echilibrul între portanța susținerii și mișcarea rocilor înconjurătoare se stabilește, ca și în cazul lucrărilor miniere orizontale, prin calcule economice.

Puț vertical săpat în roică coezivă, roca din zona sfărîmată fiind lipsită de coeziune. Dacă se presupune că puțul se sapă într-o rocă coezivă cu $c = 0{,}244$ daN/cm², coeziune pe care o poate avea o argilă nisipoasă — celelalte condiții rămînînd identice ca și pentru cazul precedent — datorită tensiunilor tangențiale care depășesc rezistența de rupere la compresiune a rocii, se produce forfecarea (sfărîmarea), care se extinde pe o distanță oarecare, pînă unde tensiunile radiale sînt suficient de mari pentru a opri procesul de forfecare. Datorită procesului de forfecare, se consideră că în interiorul zonei sfărîmate rocile sînt lipsite total de coeziune.

Rezistența inițială la compresiune a rocilor în care se sapă puțul se determină din relația:

$$Q = 2c\frac{\cos\varphi}{1 - \sin\varphi} = 2 \cdot 0{,}244 \cdot 2 = 0{,}976 \text{ daN/cm}^2.$$

Ca și în cazul precedent:
$\sigma_t = 2\sigma_x = 2\sigma_y = 2{,}4$ daN/cm², tensiuni care întrec cu mult rezistența la compresiune a rocii.

$$\sigma_{rb} = (\sigma_t - Q)\frac{1}{2}(1 - \sin\varphi) = (2{,}4 - 0{,}976)\frac{1}{5} = 0{,}3 \text{ daN/cm}^2.$$

Dacă forfecarea înaintează progresiv pînă la $b = 1{,}5\ a$,

$$p_i = 0{,}3\left(\frac{1}{1{,}5}\right)^3 = 0{,}087 \text{ daN/cm}^2.$$

Pentru ca roca să se autosușțină ($p_i = 0$) este necesar ca aceasta să posede o rezistență de rupere la compresiune de:

$$Q > \sigma_t = 2{,}4 \text{ daN/cm}^2.$$

În acest caz, roca ar trebui să posede o coeziune

$$c = \frac{Q}{2} \cdot \frac{1 - \sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{2{,}4}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0{,}6 \text{ daN/cm}^2$$

Puț vertical săpat în roică coezivă, roca din zona sfărîmată posedînd o oarecare coeziune. Dacă se presupune că puțul vertical este săpat într-o rocă coezivă, cum ar fi o argilă nisipoasă, iar în interiorul zonei de forfecare — datorită fragmentelor de argilă — roca sfărîmată mai posedă o coeziune de $c = 0{,}0488$ daN/cm², se va putea determina, plecînd de la ecuația lui Labasse

$$p_i = (\sigma_{rb} + c\,\mathrm{ctg}\varphi)\left(\frac{a}{b}\right)^{j-1} - c\,\mathrm{ctg}\varphi \qquad (3.72)$$

$$T = c\,\mathrm{ctg}\varphi = \frac{c}{\mathrm{tg}\,\varphi} = \frac{0{,}0488}{0{,}75} = 0{,}065 \text{ daN/cm}^2,$$

înlocuind:

$$p_i = (0{,}3 + 0{,}065)\left(\frac{1}{1{,}5}\right)^3 - 0{,}065 = 0{,}0445 \text{ daN/cm}^2.$$

Se observă că, în cazul cînd roca din zona sfărîmată mai posedă o oarecare coeziune, presiunea asupra susținerii este cu mult mai mică ($p_i = 0{,}0445$ daN/cm²) decît în cazul cînd roca din interiorul zonei sfărîmate nu mai posedă nici un fel de coeziune ($p_i = 0{,}087$ daN/cm²).

Pentru condițiile Văii Jiului, luînd în considerare patru categorii de roci caracteristice și pentru adîncimi pînă la 1000 m, presiunea, după mai mulți autori, are valorile din tabelul XVI.29.

3.3.2.3. Presiunea neuniformă asupra lucrărilor miniere verticale

Ipotezele tratate pînă în prezent au considerat presiunea ca fiind uniform distribuită în jurul lucrărilor miniere verticale.

Dacă se iau în considerare observațiile și măsurătorile practice realizate, atît în țara noastră cît și în străinătate, se ajunge la concluzia că, în majoritatea cazurilor, aceste

Tabelul XVI.2

Valorile presiunilor pentru condițiile țării noastre

Autorul	Formula autorului	Adîncimea la care se calculează presiunea m	Argilă șistoasă	Argilă grezoasă	Marnă intunecoasă	Gresie dură
M. M. Protodiakonov	$p = \gamma H \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$	500	15,3	16,1	13	11,7
—	—	700	21,4	23,6	18,2	16,4
—	—	1 000	30,6	32,2	26	23,4
P. M. Timbarevici	$p = \sum_{i=1}^{n} \gamma_i h_i \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2}\right)$	500	15,3	16,1	13	11,7
—	—	700	21,4	22,6	18,2	16,4
—	—	1 000	30,6	32,2	26	23,3
K. V. Paber	$p = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 + \gamma_4 h_4 + \gamma_5 h_5 + \frac{\gamma_6 h_6}{2} + \gamma_7 h_7$	500	14,6	15,35	12,4	11,2
—	—	700	20,4	21,6	17,4	15,7
—	—	1 000	29,2	30,7	24,8	22,4
A. N. Dinik	$p = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H$	500	49	35	31,8	24,7
—	—	700	68,5	49	44,5	34,6
—	—	1 000	78	70	63,6	49,4
Jenike-Tabasse	$p = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H \left(1 - \sin\varphi \left(\frac{a}{b}\right)^{\frac{2\sin\varphi}{1-\sin\varphi}}\right)$	500	11,3	8,4	6,36	4,45
—	—	700	15,7	11,75	8,9	6,25
—	—	1 000	22,6	17,2	12,72	8,9
Fr. Mohr	$p = \frac{0,5 \gamma H}{2(K-1)} K (K - 2\cos 2\varphi)$	500	12,5	12,5	12,5	13
—	—	700	18,2	18,2	18	18,2
—	—	1 000	25	25	25,6	26

lucrări sînt supuse la presiuni neuniforme, neuniformitate caracterizată prin coeficientul de variație a presiunii determinat prin relația:

$$V = \frac{1}{P_m} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (p_m - P)^2}{n - 1}} \qquad (3.73)$$

în care: p_m reprezintă presiunea medie

p_i — valoarea presiunii într-un punct din secțiunea transversală a puțului,

n — numărul de puncte în care este măsurată mărimea presiunii.

Mărimea coeficientului de variație a presiunii depinde de o serie de factori, printre care: grosimea, caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, felul și tehnologia de montare a susținerii, unghiul de înclinare a stratelor traversate etc.

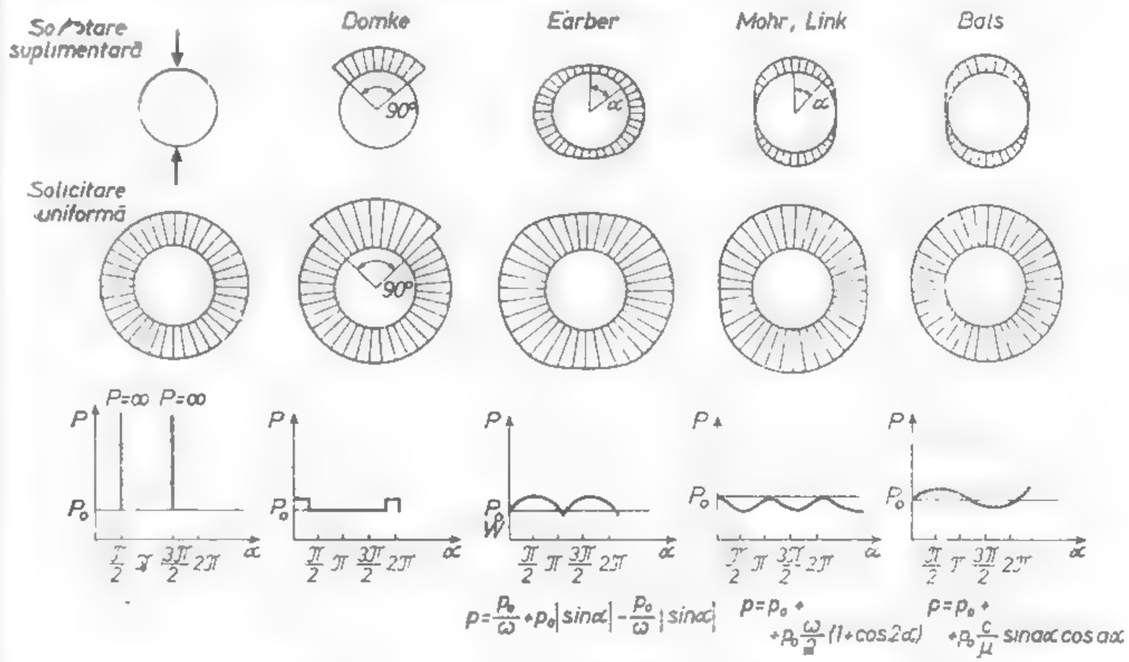


Fig. XVI.89. Distribuția neuniformă a presiunii în jurul lucrărilor miniere verticale.

După unii autori — *Țimbarevici, Mohr, Faber* — mărimea acestui coeficient variază între 0,1—0,15. Pentru a se putea trece la calculul presiunii în condiții de solicitare neuniformă, unii autori au imaginat mai multe scheme posibile de distribuție neuniformă a presiunii, calculînd și valorile presiunii maxime (fig. XVI. 89).

În urma unor măsurători practice și a interpretării lor prin statistică matematică, s-a stabilit următoarea lege de variație a presiunii

$$p_{min}^{max} = p_{med}(1 \pm 3V). \qquad (3.74)$$

în care: p_{min}^{max} reprezintă presiunea maximă sau minimă

Γ — coeficientul de variație a presiunii

3.3.3. PRESIUNEA ROCILOR ASUPRA ABATAJELOR

Studiul manifestării presiunii în abataje permite interpretarea corectă a interacțiunii dintre rocă și susținere, elaborarea unor metode de calcul bine fundamentate din punct de vedere științific, îmbunătățirea construcției susținerilor, reducerea accidentelor de muncă etc. Acest studiu este foarte complicat din cauza numărului mare de parametri ce trebuie luați în considerare, printre care

- geologici (proprietățile fizico-mecanice ale rocilor înconjurătoare și ale substanței minerale utile, forma, dimensiunile, succesiunea stratigrafică și prezentarea tectonică a rocilor, prezența unor suprafețe de minimă rezistență, precum și existența gazelor și apelor subterane);

- minieri (forma și dimensiunile frontului de abataj, procedeul de abataj folosit, sistemul de susținere a abatajului, metode de dirijare a presiunii rocilor).

Numărul ridicat de parametri care influențează modul de manifestare a presiunii precum și cunoașterea insuficientă a acestora au condus la explicarea în mod diferit a presiunii și la formularea unui număr ridicat de ipoteze care pot fi grupate astfel

1) ipoteza bolții de presiune,
2) ipoteza încovoierii stratelor din acoperiș,
3) alte ipoteze.

Ipoteza bolții de presiune. Conform acestei ipoteze datorită executării excavației și descoperirii acoperișului stratului, deasupra lucrării miniere executate în orice rocă, cu excepția nisipurilor acvifere, se formează o boltă de presiune care preia greutatea rocilor acoperitoare protejînd în acest fel susținerea din abataj — transmițînd-o în fața și în

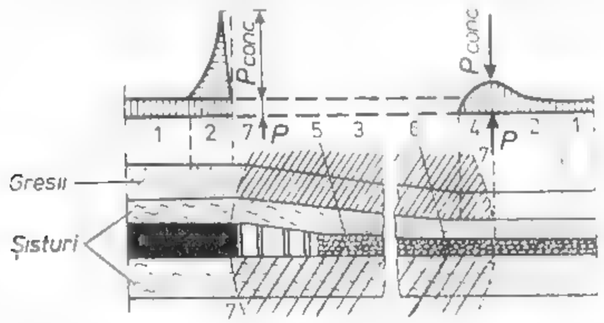


Fig. XVI.90. Schema formării bolții la un abataj:

1 — domeniul stării normale (inițiale) de tensiuni; *2* — domeniul concentrării tensiunilor (al presiunii de reazem); *3* — zonă eliberată de presiune (lipsită de tensiuni); *4* — zonă în care rambleul începe să preia o anumită presiune; *5* — rambleu netasat; *6* — rambleu în curs de tasare; *7* — limitele zonei tensiunilor reduse.

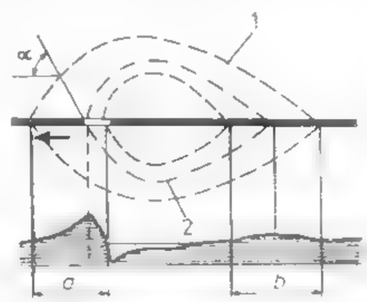


Fig. XVI.91. Formarea bolții de presiune secundară

a — porțiune frontală a bolții; *b* — porțiune din spatele bolții; *1* — linii de reazem a bolții; *2* — boltă de presiune în culcușul stratului; α — unghi de urpare.

spatele frontului de abataj. Rocile din interiorul bolții vor fi frămîntate și eliberate de tensiuni. În consecință, presiunea maximă pe susținere va fi dată numai de greutatea rocilor din interiorul bolții de presiune sau a bolții de echilibru (fig. XVI. 90

Pe măsura avansării frontului de lucru, bolta de presiune se amplifică treptat intervenind surparea ei periodică. Avansarea continuă a liniei de front determină formarea unei bolți, denumită *boltă de presiune secundară* (fig. XVI. 91), care se reazemă în spate pe rocile surpate sau pe rambleu. Avansarea continuă a frontului de lucru face ca punctul de reazem din fața bolții să fie mereu subminat și să se deplaseze înainte.

Astfel, deschiderea bolții se mărește din nou, intervenind surparea ei, care atrage după sine mutarea punctului de reazem din spate cît mai aproape de cel din față.

După cum se observă, ipoteza bolții conține două idei fundamentale.

— zona concentrării tensiunilor în masiv are forma de boltă.

— rocile situate în zona concentrării tensiunilor pot să rămînă în echilibru, fără participarea rocilor din zona tensiunilor reduse.

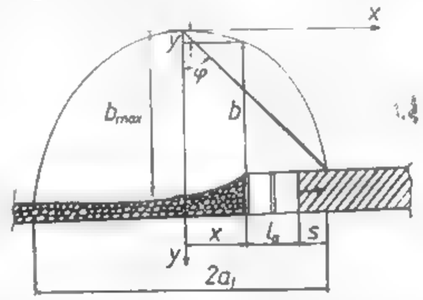


Fig. XVI. 92. Shema de calcul a presiunii pe susținere după ipoteza bolții.

Pentru calculul presiunii în punctul cel mai nefavorabil, adică pe ultimul rînd de stîlpi, se consideră bolta parabolică din fig. XI.92 de ecuația $y = \frac{x^2}{a_1 f}$. Plecînd de la relația generală $P = \gamma_a \cdot H$ și considerînd că zăcămîntul are o înclinare α, relația generală a presiunii pe ultimul rînd de stîlpi va fi:

$$P_{max} = \gamma_a \cdot b \cdot \cos\alpha \text{ dar } b_{max} = \frac{a_1}{f}$$

iar:

$$b = b_{max} - y = \frac{a_1}{f} - \frac{x^2}{a_1 f} \text{ sau } b = \frac{a_1}{f}\left(1 - \frac{x^2}{a_1^2}\right)$$

în care: $x = a_1 - (l_a + S)$

După *Protodiakonov*, distanța sau zona de strivire (S) are valoarea: $S = 1{,}6\sqrt{\frac{H}{f}}$.

De aici, rezultă

$$P_{max} = \frac{\gamma_a \cdot a_1}{f}\left[1 - \frac{\left[a_1 - \left(l_a + 1{,}6\sqrt{\frac{H}{f}}\right)\right]^2}{a_1^2}\right]\cos\alpha$$

Ipoteza încovoierii stratelor din acoperișul abatajelor grupează mai multe ipoteze, asemănătoare între ele:

Ipoteza grinzilor în consolă deosebește un *acoperiș direct* care se găsește deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci care în cazul în care nu sînt susținute se surpă ușor, și un *acoperiș principal*, care se găsește deasupra acoperișului direct sau în unele cazuri chiar deasupra stratului de cărbune, fiind format din roci rezistente care se surpă greu;

ipoteza presupune că stratele de rocă situate deasupra abatajului pot fi considerate ca niște grinzi sau plăci încastrate la unul din capete în masiv, celălalt capăt sprijinindu-se pe susținere, pe roca surpată sau pe ramblen (fig. XVI.93)

Conform acestei ipoteze, presiunea asupra susținerii din abataj este dezvoltată de momentele încovoietoare care apar în consola acoperișului direct și uneori în consola acoperișului principal. Aceasta, datorită faptului că la un moment dat și acoperișul principal poate fi în consolă, în care caz el se sprijină pe rocile surpate din acoperișul direct acoperișul principal suferind încovoieri sau rupturi periodice. În consecință, presiunea asupra susținerii obișnuite a abatajului va fi: $P = \gamma_a \cdot m$ sau: $P = \sum_{1}^{n} \gamma_a \cdot n$

Pentru înlăturarea presiunilor exagerate, capătul liber al acoperișului direct se scurtează periodic prin prăbușire.

Ipoteza grinzilor în consolă are meritul că explică în mod satisfăcător modul de concentrare a tensiunilor în zona frontului de lucru și modul de distribuire a presiunii de reazem pentru rocile de diferite rezistențe.

Ipoteza plăcilor consideră că datorită greutății proprii a stratelor din acoperiș și greutății stratelor acoperitoare, se vor transmite în pereții spațiului exploatat presiuni concentrate (P_r) (fig. XVI. 94). Pe măsura creșterii spațiului exploatat, straturile — fiind supuse la tensiuni de încovoiere crescînde, proporționale cu distanta dintre reazeme — se

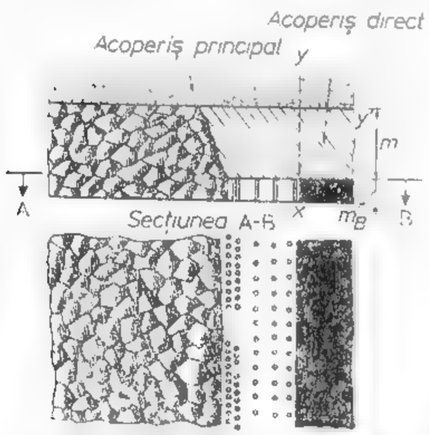


Fig. XVI.93. Acoperiș direct sub forma unei grinzi în consolă în cazul exploatării cu prăbușire totală.

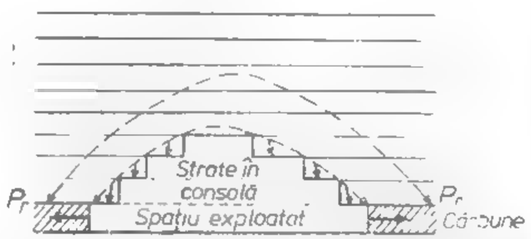


Fig. XVI.94. Schema transmiterii presiunii de reazem după ipoteza plăcilor; P_r — presiunea de reazem.

zor surpa, rămînînd lateral numai porțiuni în consolă, reduse ca lungime. Ca urmare, surparea stratelor, se formează deasupra spațiului exploatat o excavație sub formă de cupolă denumită de K. Kegel *boltă aparentă de presiune*.

Pentru ca presiunea asupra susținerii din spațiul de abataj să fie cît mai redusă este necesar ca plăcile în consolă să fie surpate periodic la un anumit interval, denumit *pas de surpare*.

Ipoteza fisurării prealabile. Conform acestei ipoteze Labasse consideră că în strat, în zonele situate în fata frontului de lucru, are loc formarea unor fisuri cauzate de diferenta mare dintre tensiunile principale care apar în rocile situate în zona tensiunilor mărite.

Stratele de roci supuse fisurării suplimentare în zona a doua își pierd rezistenta la tracțiune, rezistînd la încovoiere numai datorită frecărilor care se nasc sub influența eforturilor tangențiale de valoare ridicată. Ele sînt pretensionate de rocile acoperitoare care acționează după legitatea grinzilor în consolă, a căror elasticitate depinde de gradul lor de fisurare. Rocile sînt cu atît mai elastice, cu cît gradul lor de fisurare este mai redus. Deoarece au loc deformații pseudoplastice, rezultă că încovoierea stratelor de rocă depinde nu numai de rezistența lor deschiderea spațiului de lucru al abatajului și mărimea sarcinilor, ci și de timp. Stratele rigide lipsite de fisuri se încovoaie mult mai puțin decît stra-

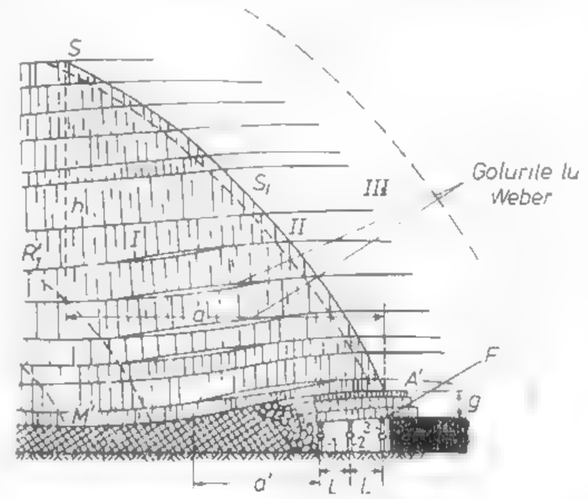


Fig. XVI.95. Formarea golurilor lui *Weber* după ipoteza lui Labasse.

tele elastice sau mai fisurate care preiau greutatea lor cînd acestea din urmă sînt situate deasupra. Stratele rigide nu participă la încovoiere, dacă stratele elastice sînt situate de desubt. Această convergență separată a stratelor elastice față de stratele rigide determină formarea unor goluri, numite *golurile lui Weber* (fig. XVI. 95), goluri care împreună cu fisurile formate creează condiții de migrare a gazelor, de circulație a apelor în cazul cînd abatajele sînt situate sub nivelul hidrostatic.

Se remarcă: aptul că în ipoteza lui *Labasse* există o concepție logică, potrivit căreia în jurul lucrărilor de abataj se formează o rețea de fisuri sub influența cărora rocile își modifică proprietățile mecanice

Presiunea creată de rocile acoperișului direct care se surpă asupra stîlpului 2 fig. XVI. 95) va fi

$$P_1 = LL' (g \cdot \gamma_a \cos \alpha + p)$$

unde: LL' este distanța dintre stîlpi pe direcție;

p — presiunea creată prin destinderea uniformă a rocilor acționînd perpendicular pe planele de stratificație.

În lipsa intercalațiilor, valoarea lui p poate fi neglijată și deci

$$P_1 = LL' g \cdot \gamma_a \cos \alpha$$

Asupra susținerii mai acționează și o parte a presiunii create de rocile din triunghiul cu baza a și înălțimea h, precum și presiunea specifică de destindere p și deci:

$$P_2 = F \cdot L' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cos\alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

unde: F este coeficient care determină cota parte din presiunea de reazem ce rămîne unui stîlp.

Presiunea maximă va fi: $P = P_1 + P_2$ și deci

$$P_{max} = LL'g \cdot \gamma_a \cdot \cos\alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma_a \cdot \cos\alpha + \frac{a}{2} p \right)$$

Dacă elasticitatea stîlpului este e, iar săgeata acoperișului în punctul respectiv este f atunci:

$$P_{max} = LL' \cdot g \cdot \gamma_a \cos\alpha + FL' \left(\frac{ah}{6} \gamma \cos\alpha + \frac{a}{2} \cdot p \right) e \cdot f$$

Din categoria ipotezelor care nu pot fi încadrate în primele două grupe, fac parte printre altele:

Ipoteza surpărilor în trepte aplicabilă pentru cazul cînd în acoperișul zăcămîntului exploatat s-a format o zonă de tensiuni reduse, în formă de prismă triunghiulară cu baza ceva mai mare ca lățimea abatajului (fig. XVI.96).

Pe măsura înaintării frontului de abataj, zona de tensiuni reduse va crește de la lățimea a la lățimile a_1 și b_2. În cazul cînd $H = \frac{a}{2}$, unde H este adîncimea de la suprafață și a semilățimea abatajului, zona de tensiuni reduse va atinge suprafața, iar partea în

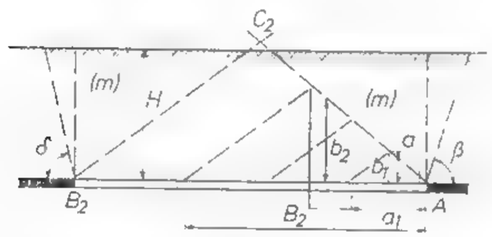


Fig. XVI.96. Schema de calcul a presiunii asupra tavanului abatajelor (după P. M. Țimbarevici).

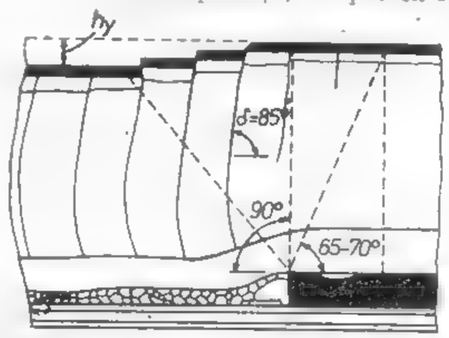


Fig. XVI.97. Schema deformării în trepte a rocilor din acoperișul stratelor, cînd zăcămîntul se află la adîncime mică.

consolă m a formațiunilor de roci acoperitoare va începe să se fisureze. Planurile de fisurare, respectiv de rupere vor forma cu planul orizontal, dus prin tavanul abatajului, unghiurile δ — în partea înspre care înaintează abatajul și β în partea opusă.

Aceste fisuri delimitează coloana de roci sterile în prisme de alunecare care au anumite dimensiuni. Valoarea cea mai ridicată a presiunii va avea loc pentru situația cînd frontul de lucru se găsește între două crăpături (fig. XVI. 96).

Ipoteza blocurilor articulate emisă de G. M. Kuznețov consideră că rocile din acoperișul stratului de cărbune se fisurează și se desprind sub forma unor blocuri. Autorul distinge două zone de surpare a blocurilor (fig. XVI. 97)

- zona surpărilor neregulate, formată din rocile acoperișului direct, avînd un coeficient de afînare de $K = 1{,}25 - 1{,}4$;
- zona surpărilor regulate, formată din rocile mai rezistente ale acoperișului principal, în care fisurația este mai puțin pronunțată, iar blocurile desprinse suferă o deplasare mai ordonată, rocile în ansamblul lor avînd un coeficient de afînare de $K = 1{,}05 - 1{,}15$.

În zona surpărilor regulate, blocurile separate între ele prin fisuri nu își pierd complet legătura între ele, formînd un sistem articulat cu mai multe verigi, care se lasă în mod ordonat asupra spațiului exploatat. Observațiile directe din subteran, precum și concluziile desprinse în urma studierii fenomenului pe materiale echivalente, au arătat că înălțimea zonei de surpare nu depășește de 4—5 ori grosimea stratului de cărbune.

Rezultă că pentru păstrarea portanței rocilor din acoperiș și împiedicarea fenomenului de fragmentare a acestuia, capacitatea portantă a susținerilor nu trebuie să aibă valori ridicate.

3.4. STUDIUL MANIFESTĂRII PRESIUNII MINIERE PRIN MĂSURĂTORI DIRECTE

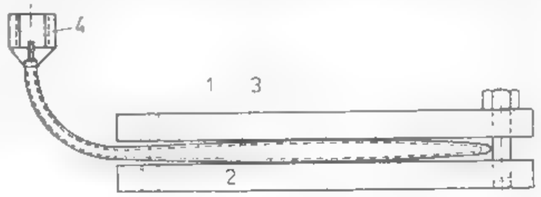
Măsurarea directă a presiunii care acționează în excavațiile subterane se realizează cu aparate funcționînd pe principii mecanice, hidraulice, electrice sau pe principii combinate.

Aparatele *mecanice* se bazează fie pe deformarea în limite elastice ale unor dinamometre, fie pe mărimea urmei lăsate de către bile de oțel în plăci de oțel cu rezistență redusă.

Aparatele *hidraulice* se bazează pe proprietatea de incompresibilitate a lichidelor ca: mercur, ulei, glicerină etc. astfel de aparate fiind redate în fig. XVI.98 și XVI.99

Fig. XVI.98. Dinamometru hidraulic Wohlbier-Ambatiello:

1, 2 — plăci de solicitare; 3 — aparatul propriu-zis; 4 — mufă de legătură cu aparatul de măsurare a presiunii.



Aparatele *electrice* se bazează, în cazul cel mai general, fie pe metoda tensometriei electrice, fie pe modificarea frecvenței vibrării unor coarde de oțel în funcție de solicitare (fig. XVI. 100).

Aparatele combinate sînt, în general, aparate electro-hidraulice combinînd cele două caracteristici, în scopul obținerii unei precizii mai mari (fig. XVI.101). Folosirea diferitelor tipuri de aparate se face în funcție de loc, de rocă, condițiile exsitente și de precizia urmărită. Măsurătorile se realizează prin amplasarea aparatelor între susținere și rocă, prin încastrarea acestora în beton, între tavan și vatră sau prin menținerea lor în spațiul surpat.

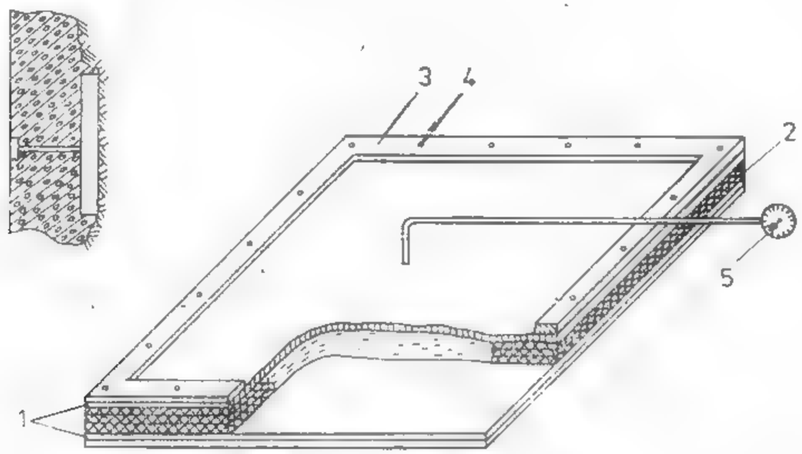


Fig. XVI.99. Aparat hidraulic tip I.M.P. 3

1 — [illegible] ; 2 — armătură de etanș[illegible] ; 3 — [illegible] ; 4 — [illegible] ; 5 — [illegible]

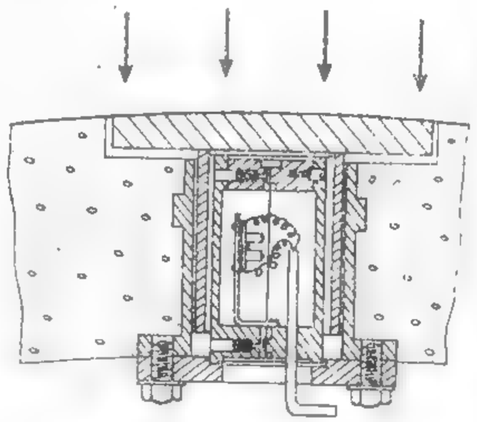


Fig. XVI.100. Aparat pentru măsurarea presiunii radiale.

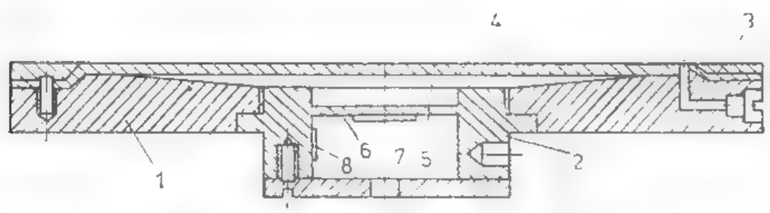


Fig. XVI.101. Aparat electric tip Freiberg

1 — corp metalic ; 2 — cilindru de legătură ; 3 — inel de etanșare ; 4 — membrană elastică ; 5 — cameră cu lichid sub presiune ; 6 — membrană elastică de oțel ; 7 — marcă tensometrică activă ; 8 — marcă tensometrică de compensare.

În urma unui mare număr de măsurători, pentru a putea trage concluzii juste și folositoare este necesar ca rezultatele obținute în măsurătorile individuale să fie prelucrate.

3.5 STUDIUL MODULUI DE MANIFESTARE A PRESIUNII PRIN METODA MODELĂRII CU MATERIALE ECHIVALENTE

Datorită faptului că metodele teoretice de cercetare a stărilor de tensiuni, a presiunilor și deplasărilor de roci s-au dezvoltat pentru cazuri ideale, și faptului că modul de manifestare a presiunii este determinat de o serie de cauze și factori care acționează simultan lucru ce implică studiul acestora în natură, în prezent se folosesc pe o scară din ce în ce mai mare studii prin metoda modelării.

Această metodă constă în înlocuirea rocilor natuale, respectiv a substanței minerale utile, care se cercetează, cu materiale artificiale avînd proprietăți fizice, mecanice și elastice similare, respectîndu-se legile similitudinii dintre obiectul de modelat și modelul de laborator experimental.

Similitudinea geometrică (α_L) impune ca raportul între dimensiunile liniare din natură și dimensiunile liniare corespunzătoare din model să rămînă constante adică

$$\frac{L_n}{L_m} \quad \alpha_L = \text{constant}, \tag{3.75}$$

Similitudinea cinematică (α_t) consideră că particulele de rocă din natură, respectiv cele din model, deplasîndu-se după o traiectorie geometric asemănătoare, parcurg în unitatea de timp un drum geometric asemănător, adică;

$$\frac{T}{t} = \alpha_t = \text{constant}, \tag{3.76}$$

Similitudinea dinamică (α_γ) se obține atunci cînd masele punctelor asemănătoare din natură și din model se deosebesc printr-o constantă

$$\frac{\gamma_{aN}}{\gamma_{aM}} \quad \alpha_\gamma = \text{constant}. \tag{3.77}$$

Pornindu-se de la legile de bază ale similitudinii, se pot stabili relațiile de dependență dintre materialele, respectiv rocile din natură și cele din model. Astfel, în cazul proceselor de deformare și rupere, se deosebesc următoarele relații:

$$\begin{aligned} \sigma_{rcM} &= \sigma_{rcN} \cdot \alpha_\gamma^{1} \cdot \alpha_L^{1}, \\ \sigma_{rtM} &= \sigma_{rtN} \cdot \alpha_\gamma^{1} \cdot \alpha_L^{1}, \\ {}_{M} &= {}_{N} \cdot \alpha_\gamma^{1} \cdot \alpha_L^{1} \\ \operatorname{tg}\varphi_M &= \operatorname{tg}\varphi_N, \end{aligned} \tag{3.78}$$

Condițiile asemănătoare ale proceselor în domeniul elastic necesită următoarele cerințe

$$E_M = E_N \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}; \tag{3.79}$$

Condiția de asemănare a proceselor în domeniul deformărilor plastice este dată de relația:

$$\frac{\varepsilon_{pM}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_M} = \frac{\varepsilon_{pN}}{(\varepsilon_e + \varepsilon_p)_N} \tag{3.80}$$

cu respectarea condiției:

$$\varepsilon_e + \varepsilon_p = f(\sigma) \tag{3.81}$$

În cazul modelării unei coloane stratigrafice formată din mai multe straturi cu proprietăți mecanice diferite, condițiile de modelare impun ca:

$$\frac{\gamma_{a1M}}{\gamma_{a1N}} = \frac{\gamma_{a2M}}{\gamma_{a2N}} = \ldots\ldots \frac{\gamma_{anM}}{\gamma_{anN}};$$

$$\frac{\eta_{1M}}{\eta_{1N}} = \frac{\eta_{2M}}{\eta_{2N}} = \ldots\ldots \frac{\eta_{nM}}{\eta_{nN}},$$

Un parametru de bază în modelare este *valoarea* sau *scara timpului*; aceasta va fi determinată din relația:

$$\alpha_T = \frac{\eta_N}{\eta_M} \cdot \alpha_\gamma^{-1} \cdot \alpha_L^{-1}, \tag{3.82}$$

Datorită greutăților intervenite în determinarea viscozității dinamice a unui fluxent se folosește pentru scara timpului relația

$$\alpha_T = \sqrt{\alpha_L}. \tag{3.83}$$

Pentru diferite condiții, în funcție de natura materialelor alese pentru modelare și de scopul urmărit, totalitatea condițiilor de similitudine poate fi simplificată.

Pentru realizarea machetelor de materiale echivalente se folosesc o serie de materiale, care după Departamentul de Proiectări în Mecanica Rocilor din S.U.A. pot fi

elastice, cu astfel

- Materiale pentru modelare
  - granulare
    - cimentate cu
      - mortar
      - ciment
      - ulei și vaselină
      - rășini
      - argilă
    - necimentate
  - negranulare
    - plastice
      - plastice simple
      - plastifianți
    - neplastice
      - metalice
      - nemetalice
        - granulare
        - negranulare

În mod obișnuit se folosesc materiale granulare necimentate sau cimentate cu ulei vaselină, gips, parafină, colofoniu etc.

Elementul care umple masa materialului echivalent este nisipul cuarțos sau mase artificiale asemănătoare. Solventul pentru materialele preparate la rece este apa — pentru gips, benzina — pentru vaselină. Amestecurile cu parafină și în parte cu materiale plastice sînt preparate la cald.

În afara liantului și a solventului, în compoziția materialelor echivalente pentru modelarea rocilor mai intră diferite adaosuri, avînd drept scop modificarea unor parametri ai acestora.

Din încercările realizate în laboratorul de mecanică a rocilor de la Institutul de Mine Petroșani s-a constatat că o modificare oricît de mică a unui singur parametru influențează proprietățile materialului echivalent.

Pentru realizarea încercărilor pe modele de materiale echivalente se folosesc standuri de modelare fixe sau rotative, plane sau volumetrice. În funcție de scara de modelare aleasă, standurile au lungimi de la cîteva zeci de centimetri, la cîteva zeci de metri și lățimi corespunzătoare scării.

Pentru punerea în evidență a modului în care se deformează diferite categorii de roci din jurul unei lucrări miniere orizontale, au fost întreprinse o serie de cercetări pe standuri plane, avînd ca materiale echivalente:

— plastilină (proprietăți plastice pronunțate);
— parafină (proprietăți elasto-casante);
— nisip + parafină (proprietăți variabile în funcție de cantitatea de parafină, granulometria nisipului etc.).

În urma încercărilor efectuate pe modelele din gelatină-glicerină au fost obținute rezultate însemnate referitoare la modul de deformare a rocilor (fig. XVI.102).

Ca o deficiență a încercărilor se poate semnala faptul că acestea nu indică mărimea tensiunilor din jurul lucrărilor miniere. Încercările realizate prezintă și deficiența că nu au luat în considerare reacțiunea susținerii.

Studii mai complexe efectuate pe materiale echivalente stratificate, cu luare în considerare a reacțiunii susținerii, au pus în evidență modul de comportare, de deformare și rupere a rocilor în situații care se apropie de situațiile reale din natură. Astfel, au fost executate lucrări miniere circulare, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor tuburi cilindrice de cauciuc în care s-a introdus apă sub presiune, presiunea creată fiind echivalentă cu reacțiunea susținerii. În urma acestor încercări s-au constatat următoarele

cînd modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm² și unei presiuni orizontale de 15 daN/cm², reacțiunea susținerii fiind zero, roca înconjurătoare s-a deformat astfel încît secțiunea lucrării s-a redus cu circa 60%

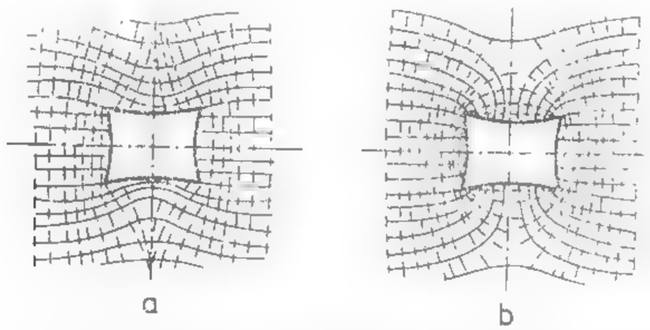


Fig. XVI.102. Model de gelatină-glicerină cu posibilitate de deformare liberă

a — numai în lungul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale; b — numai spre interiorul secțiunii tăiate în placă și traiectoriile tensiunilor principale (după E. Lehr, K. Seidl)

cînd modelul a fost supus unei presiuni verticale de 22 daN/cm² și unei presiuni orizontale de 21 daN/cm², reacțiunea susținerii fiind de circa 1 daN/cm², secțiunea lucrării a fost redusă cu 34 % din secțiunea inițială;

— cînd presiunea verticală a fost de 22 daN/cm², presiunea orizontală de 15,5 daN/cm², iar reacțiunea susținerii de 3,5 daN/cm², secțiunea lucrării a suferit o reducere de numai 18%.

Încercările de acest fel sînt foarte utile, cu ajutorul lor putîndu-se stabili, pentru diferite condiții din natură, felul și reacțiunea necesară a susținerii, astfel ca lucrarea minieră să fie stabilă.

Un studiu asemănător a fost realizat, în Laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, pentru proiectarea tunelului de acces în subteran la mina Șuor. Cu ajutorul unui stand plan s-a studiat forma optimă a profilului transversal al tunelului, reacțiunea necesară a susținerii, modul de deformare și rupere a rocilor înconjurătoare.

Rocile au fost modelate ținînd seama de legile similitudinii, proprietățile acestora fiind realizate pentru scara de modelare 1.50. Solicitarea asupra susținerii a fost realizată prin intermediul unor pîrghii de care s-au atîrnat anumite greutăți. Susținerea a fost modelată dintr-o membrană de cauciuc, iar reacțiunea susținerii s-a realizat prin presiunea de aer în interiorul membranei. Concluziile la care s-a ajuns au indicat o secțiune transversală sub formă de potcoavă cu vatră curbată și o susținere din beton, avînd grosimi variabile funcție de rocile străbătute.

Pentru studiul fenomenelor din jurul lucrărilor miniere verticale se folosesc de obicei standuri volumetrice. Un asemenea stand a fost realizat în laboratorul de mecanica rocilor de la I. M. Petroșani, urmărindu-se solicitarea asupra susținerii, mișcările de roci precum și variația tensiunilor verticale și a celor radiale. În principal, standul a fost format dintr-o coloană centrală care a imitat puțul propriu-zis, susținerea fiind modelată cu ajutorul unor pastile hidraulice. De la fiecare pastilă hidraulică, prin intermediul unor tuburi flexibile, s-a făcut legătura cu un tub capilar cu ajutorul căruia a putut fi determinată solicitarea asupra susținerii.

Deplasarea rocilor a fost urmărită cu ajutorul unor repere prevăzute cu microcomparatoare, iar starea de tensiune a fost determinată cu ajutorul unor microdinamometre tensometrice.

Pe măsura încărcării modelului cu materiale echivalente în strate succesive, acesta a fost închis într-o cămașă metalică.

Modelarea lucrărilor miniere de abataj este asemănătoare cu modelarea lucrărilor miniere orizontale, cu deosebirea că în acest caz standurile de modelare au dimensiuni cu mult mai mari, pentru a putea urmări totalitatea fenomenelor pe măsura avansării frontului de lucru.

4. STABILITATEA TALUZELOR

4.1. CONSIDERAȚII PRIVIND CONDIȚIILE ȘI FACTORII CARE DETERMINĂ STABILITATEA TALUZELOR

Problema stabilității taluzelor în roci este legată de activitatea minieră de producție din exploatările la zi, de realizarea construcțiilor hidrotehnice, feroviare, rutiere, de executarea galeriilor de coastă pentru activitatea minieră subterană, protejarea zonelor locuite sau cultivate cu relief accidentat. Dacă evaluarea stabilității taluzelor în cazul construcțiilor feroviare și rutiere este o problemă oarecum simplă și realizabilă cu costuri reduse, ea constituie o problemă de prim ordin atît din punct de vedere tehnic cît și economic în cazul exploatărilor la zi (carierele adînci, pentru asigurarea stabilității taluzelor în timpul exploatării: carierele de lignit din Oltenia, carierele de șisturi bituminoase de la Anina, carierele de la Moldova Nouă, Rosia Poeni etc.), a construcțiilor hidrotehnice și a celorlalte domenii precizate. Mai mult, se impune proiectarea acestor taluzuri și analizarea stabilității lor.

A proiecta un taluz înseamnă a-i determina forma, panta și înălțimea lui în condiții de stabilitate asigurată. Pe plan mondial s-a ajuns cu carierele la adîncimea de 1000 m. La asemenea lucrări, mai ales, asigurarea stabilității taluzelor face ca problema configurației acestora să dețină un factor deosebit de important în aprecierea economicității, deoarece cantitatea de steril ce trebuie dislocată se modifică în funcție de dimensiunile geometrice ale taluzului (pentru o creștere a pantei taluzelor cu 1°, la o carieră cu dimensiunile 300 × 300 × 100 m se extrag, în plus 1 milion tone de minereu).

Stabilitatea taluzelor se exprimă printr-un *coeficient de siguranță* η sau *factor de stabilitate* F_s, ca și raportul dintre forțele de rezistență și cele de alunecare și deci pentru a avea un taluz stabil trebuie ca $\eta > 1$; $\eta = (\Sigma F_r/\Sigma F_{ta}) \geqslant 1$, adică să existe o rezervă de stabilitate.

Calitativ, conceptul de stabilitate reprezintă o nedeterminare. Coeficientul η sau F_s se ia mai mare, în funcție de gradul de nedeterminare a problemei. Stabilitatea are un caracter relativ: 1) atît din punct de vedere a timpului, coeficientul de stabilitate avînd valori diferite pentru taluzuri cu durată diferită (definitive sau de exploatare) $\eta = [(T+b)/a]^{1/n}$; unde a și b sînt coeficienți ce depind de proprietățile de rezistență ale rocilor; n — coeficientul funcție de natura rocii și comportamentul acesteia la rupere prin forfecare (tabelul XVI. 30); T — durata taluzului (tabelul XVI. 31); 2) cît și din punct de vedere spațial valoarea coeficientului de stabilitate η variază de la $\eta = 2-2{,}5$ la partea superioară a taluzului, pînă la $\eta = 1-1{,}3$ la baza lui.

Pierderea stabilității poate avea loc prin apariția și dezvoltarea suprafețelor de rupere în interiorul masivului, prin dezvoltarea zonelor de deformare neelastică sau datorită fenomenului de fluaj, consecințe ale stării de tensiune secundară creată în

masiv odată cu executarea în acesta a taluzului. Ca urmare a stării de tensiune secundară ce apare în taluzuri, imediat ce acestea s-au executat în masivele de rocă, fenomenul de pierdere a stabilității lor este de așteptat în cazul în care proiectarea elementelor taluzelor nu s-a realizat în contextul acestei stări și a tuturor factorilor ce determină stabilitatea lor (tabelul XVI.32).

Tabelul XVI.30

Valori ale coeficienților utilizați în determinarea stabilității de durată a taluzelor

Caracterizarea structural-texturală a rocii sau masivului	Valoarea unghiului de taluz θ (grade								
	10°—30°			30°—60°			> 60		
	a	*b*	*n*	*a*	*b*	*n*	*a*	*b*	*n*
Omogene, neafectate de suprafețe de minimă rezistență sau slăbiri structurale; stabile	1,2	0,9	6,0	1,17	0,92	5,2	1,15	0,95	4,8
Omogene, slab fisurate; de stabilitate medie	1,15	0,88	5,5	1,08	0,87	4,8	1,10	0,86	4,6
Omogene, fisurate, de stabilitate mică spre medie, adică potrivită	1,05	0,84	5,0	1,03	0,82	4,6	1,05	0,8	4,2
Neomogene constituite din blocuri; repartizarea tensiunilor în masiv este neuniformă	1,05	0,8	4,5	1,02	0,75	4,3	1,0	0,7	4,0

Tabelul XVI.31

Coeficientul de siguranță în funcție de durata taluzului

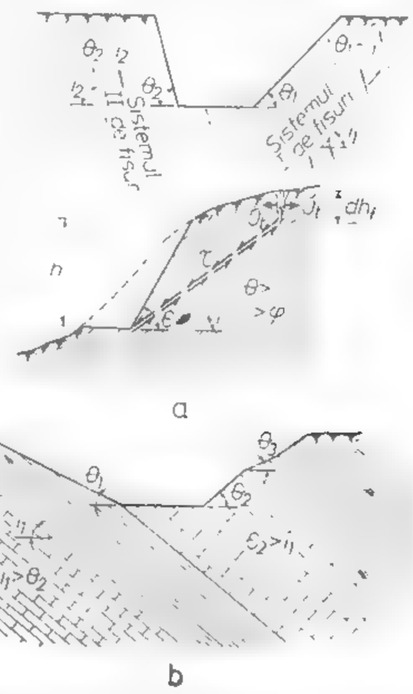
Coeficientul de siguranță	Durata de existență a taluzului *T* ani
1,1—1, 1,2—1,5 1,5—2,0 3	1 <20 >20 seculară

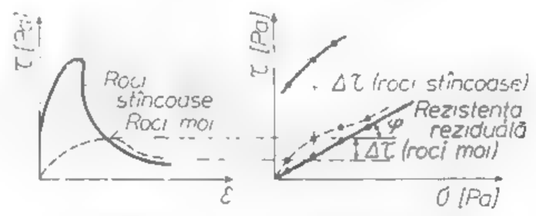
Tabelul XVI.32

Factorii care determină stabilitatea taluzelor

Grupa de factori	Factori	Caracterizarea succintă a influenței factorilor asupra stabilității taluzelor
0	1	2
Cauze de declanșare de lege la scară în timp de fenomene geotectonice	1. *Natura litologică; structura și textura masivului; compoziția mineralo-gră. Natura și conținutul de legătură*	Cunoașterea proprietăților ce caracterizează geologic și tectonic structural și textural masivul de rocă este un indicator calitativ cu privire la alegerea, proiectarea și verificarea elementelor geometrice ale taluzelor și a stabilității lor. În acest context se impune cunoașterea elementelor geometrice (orientarea, inclinarea), a parametrilor ce caracterizează fragmentarea naturală a masivului, a suprafețelor de minimă rezistență stabilitate mai mică la o inclinare conformă și mai mare la o inclinare inversă), tabelul XVI.32. Natura litologică, tipul de masiv influențează și cantitatea valorile elementelor geometrice ale taluzelor (tabelul XVI.32). Recomandările orientărie pe rând alegerea acestor elemente (θ și *h*) ale taluzelor, structura și tectonica masivului, alcătuirea fisurilor și a fisurilor direcția și înclinarea stratelor și a fisurilor ; poziția stratelor (taluzele proiectate pe o direcție cu cea a stratelor, fisurilor etc. sunt mai puțin stabile decât cele orientate perpendicular pe această direcție); orientarea și înclinarea stratelor, fisurilor etc. (când panta taluzului și înclinarea stratelor cad în aceeași parte ne aflăm în cea mai defavorabilă situație a stabilității; când înclinarea stratelor cade spre taluz, rezerva de stabilitate este de cinci ori mai mare). Căderea accidentelor tectonice de aceeași parte cu panta taluzului duce la pierderea stabilității lui
	2. *Eterogenitatea naturală a masei de rocă la scară cristalină la scară mare (stratificația, șistozitatea disjunctivă, diaclazitatea, hacturile, falierele), istoricul de lucru al masei de rocă: heterogenitatea (heterotropia și anizotropia masivului)*	

Tabelul XVI. 32 (continuare)

0	1	2
Grupa proprietăților de legătură create în timp de fenomenele geotectonice	5° *Regimul hidrogeologic și climateric* (influența apelor de suprafață, subterane)	chiar în cazul când straturile-fisurile etc. înclină spre taluz. Se impune deci o cunoașterea aprofundată și temeinică a acestor parametri local și regional deoarece funcție de ei se va alege schema și metoda de calcul a stabilității taluzelor.  Fig. XVI.103. Factorii care influențează valoarea θ și h. a — direcția și înclinarea fisurilor concordantă cu θ; b — discordantă cu θ.

Grupa proprietăților fizico-mecanice	1° *Caracteristici fizice de densitate* (greutatea specifică aparentă, porozitatea, tasarea golurilor) 2° *Caracteristici fizice referitoare la faza lichidă din rocă* (umiditatea naturală, umiditatea la saturație și gradul de saturație, capacitatea de adsorbție-absorbție) 3° *Caracteristici fizice referitoare la faza solidă a rocii* (analiza granulometrică). 4° *Caracteristici fizice referitoare la sistemul trifazic al rocii* (permeabilitatea, proprietățile de filtrare, gradul de filtrare, gradul de alterare, de dezagregare) 5° *Caracteristici de rezistență* (tracțiune, compresiune, forfecare, coeziunea și unghiul de frecare interioară, unghiul de taluz natural, coeficientul de frecare, umflarea) 6° *Caracteristici elastice și plastice* 7° *Caracteristici reologice*	Pierderea stabilității are loc atât la rocile moi cât și la cele stâncoase. În funcție de tipul de rocă, fenomenul ce alunecă care se manifestă însă diferit, la rocile moi pierderea de stabilitate se manifestă în prealabil prin o serie de deformații evidente, pe când la rocile stâncoase se produce instantaneu. Ruperea prin forfecare se produce diferit (fig. XVI.104)  Fig. XVI.104. Ruperea prin forfecare a taluzelor. Stabilitatea este practic controlată de rezistența reziduala $\Delta\tau = \tau_u$ Caracteristicile menționate trebuie determinate în vederea caracterizării masivului din punct de vedere al comportamentului sau la deformare, al stabilității lui ca în final să se aleagă în mod judicios cele trei elemente principale de care depinde stabilitatea taluzelor, să se facă calculul de verificare a stabilității
	1° *Starea de tensiune primară*	Calculul taluzelor apelează în primul rînd la starea de tensiune primară a masivului și ca urmare, estimarea acestei stări se impune a fi realizată înaintea oricărui calcul de proiectare. Ca mai recentă metodă de analiză a stării de tensiune (primare sau secundare) este *metoda elementului finit* (MEF). Tehnica MEF folosește modelul matematic al mediului continuu constituit dintr-un număr mare de elemente interconectate prin noduri (fig. XVI.105). Modelul este

Tabelul XVI. 32 (continuare)

0	1	2
Comportamentul la deformație a masivului	2°. *Starea de tensiune și umidă*	o ecuație de echilibru obținută prin liniarizarea ecuațiilor de deplasare date de teoria elasticității. Din cauză că fiecare element poate avea proprietăți diferite, un asemenea model este recomandat pentru structuri complexe — roca sau masivul. Procedeul se realizează numai cu ajutorul calculatorului cu posibilități mari de înmagazinare a datelor. Pentru un element triunghiular unidimensional deplasarea u a unui nod al elementului este $u = \begin{Bmatrix} u_x \\ u_y \end{Bmatrix}$, $u_x = a_0 + a_1 x + a_2 y$, $u_y = b_0 + b_1 x + b_2 y$

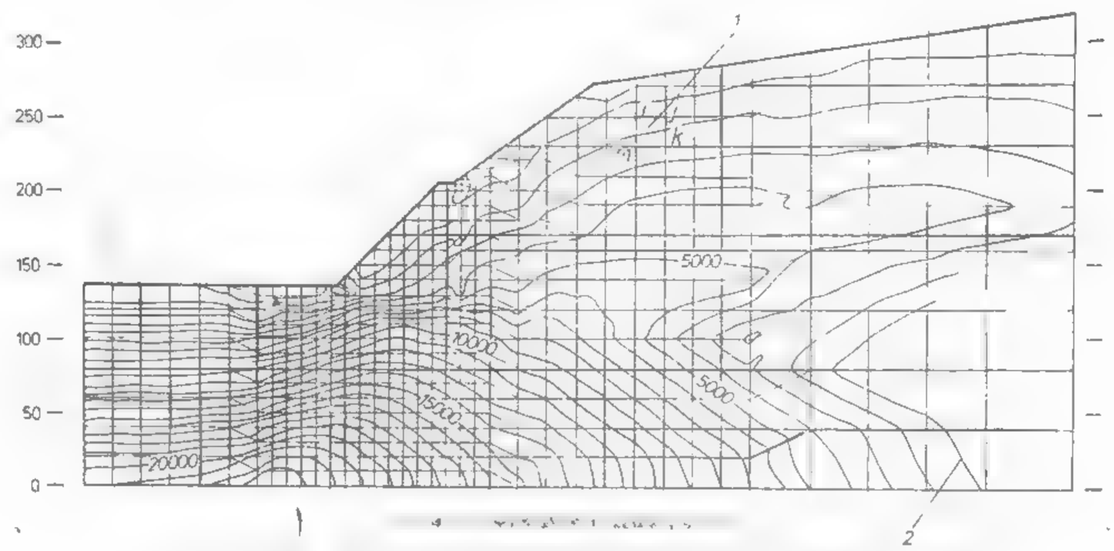


Fig. XVI.105. Metoda elementului limit (MEF) aplicată taluzelor.

		Relațiile între deformații, tensiunea de forfecare și expresiile de deplasare ale lui Hooke: $\{\sigma\} = [L]\{\varepsilon\} = [l_1]\{u\}$, $\{\tau\} = [l_2]\{\varepsilon\}$, $\{F\} = [l_3]\{\tau\}$ unde $[L] = [L_{ij}] = [l_3][l_2][l_1]$, care se liniarizează prin înlocuirea operatorului diferențial $[l_1]$ cu operatorul algebric liniar $[\bar{l}_1]$. Deci $\{\varepsilon\} = [\bar{l}_1]\{u\}$.
Grupa factorilor de natură geometrică și tehnologică	1°. *Elementele geometrice ale taluzului* (forma, panta și înălțimea taluzului).	Stabilitatea taluzelor depinde de elementele lui geometrice, fig. XVI.106 (de exemplu pentru un $\theta = 60-70°$ probabilitatea de cedare a taluzului este foarte mare) de durata taluzului (tabelul XVI.33), de tehnologia curentă de extracție (tabelul XVI.34). Elementele geometrice, unghiul și înălțimea taluzului care asigură o deplină stabilitate trebuie să fie evaluate și pe considerentul siguranței și a condițiilor de exploatare (omogenitatea grosimii rocilor sterile și a utilului din fiecare treaptă; bermele amplasate pe formațiuni rezistente o bună folosire a utilajului, concordanță parametrilor lor cu
	2°. *Tipul de taluz sau durata acestuia*	
	3. *Existența suprasarcinilor* (utilajele de excavație, mijloace de transport etc.)	
	4°. *Prezența bermelor*	

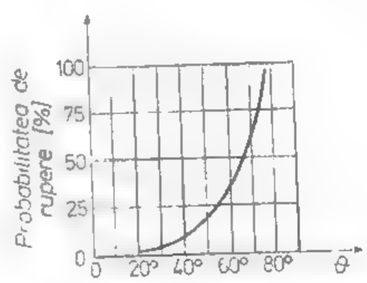


Fig. XVI.106. Dependența stabilității taluzelor de elementele sale geometrice - valoarea unghiului θ.

Tabelul XVI. 32 (continuare)

0	1	2
Grupa factorilor de factură geometrică și tehnologică	5° *Procedeul de extragere cu explozivi* (cantitatea de explozivi, modelarea fișei de perforare-împușcare).	dimensiunile frontului extragerea treptei pe întreaga înălțime etc.), tabelul XVI 34. Taluzele suportă o gamă mare de suprasarcini, (fig. XVI 107) care trebuiesc estimate în prealabil printr-o fructuoasă colaborare inginer-minier cercetător-proiectant. Bermele sînt mijloace constructive care ne stau la îndemînă pentru creșterea rezervei de stabilitate a taluzelor (fig. XVI 108), deoarece fiecare treaptă are panta θ_0 sau

Fig. XVI.107. Acțiunea sarcinilor exterioare asupra taluzului.

Fig. XVI.108. Bermele ca mijloace de creștere a rezervei de stabilitate a taluzelor.

($\theta < \theta_0$) panta medie a taluzului prevăzut cu berme fiind mai mică decît panta treptei ($\theta < \theta_0$) rezerva de stabilitate este mai mare, mai mult, creșterea aceasta este datorată și faptului că aceste berme cad întotdeauna în prismul pasiv și ca urmare acțiunea masei Q de rocă de sine fa vorabilă stabilității. Socul exploziilor reduce rezistența rocii pînă la pierderea stabilității prin lisurile create pînă la circa 20 – 50 m în interiorul masivului.

Tabelul XVI.33

Unghiul de taluz funcție de durata lui de existență

Tipul și natura rocii	Valoarea maximă a unghiului de taluz θ_{max} [grade]	
	Taluz de scurtă durată	Taluz de lungă durată
Roci magmatice și metamorfice omogene	80 – 90	55 – 65
Roci magmatice obișnuite	70 – 80	
Roci sedimentare monolitice	50 – 60	50 – 55
Roci metamorfice de tipul șisturilor cristaline; roci sedimentare: gresii și grezoase	40 – 50	
Roci sedimentare: argile, marne, marne argiloase, argile-nisipoase, argile-marnoase	35 – 45	25 – 45 în funcție de umiditate

Tabelul XVI.34

Valori ale înălțimii treptelor întîlnite în practica curentă

Tipul și natura rocii	Procedee-tehnici de extragere	Înălțimea treptelor-taluzelor h [m]
Roci aluvionare clastice și cu coeziune foarte mică	Extragere manuală	4
Roci de tărie medie și mare	Prin perforare-împușcare și încărcare cu excavatoare	20 – 30
	Prin împușcări masive (încărcături concentrate, găuri de sondă, camere de minare) sau utilaje mecanice de tăiere	25 – 60
Roci eruptive de tărie foarte mare	Prin perforare și împușcări masive	nelimitată

4.2. FORMA SUPRAFEȚELOR DE RUPERE ȘI PROCEDEE DE CALCUL ALE ACESTORA

Pierderea stabilității taluzelor se finalizează prin ruperea acestora. Ruperea este prezentată diferit și în multe moduri. În baza situațiilor celor mai frecvente, întîlnite practic în exploatările la zi, prezentările modului de rupere redate de literatură pot fi încadrate sinoptic în următoarele tipuri

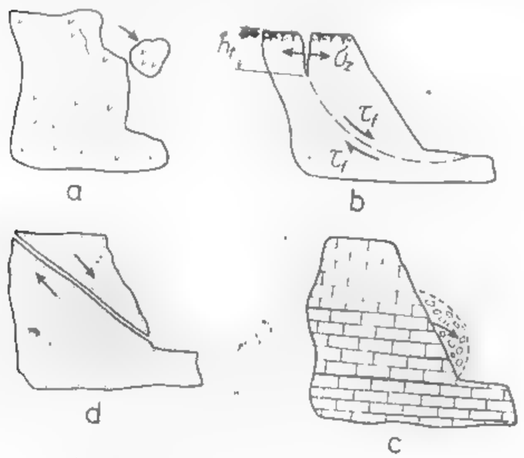


Fig. XVI.109. Tipuri de rupere a taluzelor.

1) căderi de blocuri (fig. XVI.109, *a*), caracteristic rocilor foarte fisurate, care în realitate sînt constituite din blocuri slab legate între ele și care în cazul cînd panta taluzului este mai mare decît unghiul de echilibru natural al blocurilor, acestea se vor desprinde. Cauza unor asemenea desprinderi este reducerea coeziunii dintre blocuri în urma acțiunii agenților atmosferici

2) alunecări pe suprafețe curbe (fig. XVI.109, *b*), caz în care ruperea se produce prin rotirea mai mare de rocă de-a lungul unei suprafețe curbe de o anumită formă (cilindrică, poligonală). Cauza unor astfel de ruperi este neconcordanța între geometria taluzului și rezistența de rupere la forfecare, care conduce la concentrări de tensiune secundară apreciabile, ce implică modificări neelastice în masivul de rocă.

3) desprinderi de blocuri, caracteristic rocilor uniforme, tari, neafectate de micro și macro fisuri ce ar permite ruperi plane. Ruperea în acest caz se produce prin fragmentarea rocii în punctele taluzelor unde apar concentrări maxime de tensiune și pierderi locale ale coeziunii. Un asemenea tip de rupere se produce fără o mișcare de volum de rocă și zonele incipiente de rupere nu pot fi stabilite decît numai prin cunoașterea stării secundare de tensiune și a concentrărilor acesteia.

4) ruperea plană după suprafețe geologice de minimă rezistență (fig. XVI.109, *d* și *c*).

4.3. CALCULUL STABILITĂȚII TALUZELOR

Atunci cînd pierderea stabilității taluzelor are loc prin fenomenul de alunecare în lungul unor suprafețe nete de rupere se aplică o serie de metode, mai simple sau mai complexe, care analizează echilibrul maselor de rocă clastică sau slab coezivă (nisipuri, grohotișuri, roci argilcase, pămînturi etc.) situate deasupra suprafeței de rupere.

În marea lor majoritate, metodele folosite în prezent în proiectare consideră suprafața de rupere ca avînd o formă plană și circular-cilindrică. *Metodele simple* stabilesc condițiile generale de echilibru ale taluzelor. Ele sînt bazate pe schematizări accentuate ale fenomenelor complexe de pierdere a stabilității. Cu toate acestea, asemenea metode permit evidențierea factorilor principali care condiționează apariția și dezvoltarea procesului de pierdere a stabilității.

4.3.1. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ CLASTICĂ

Se consideră un taluz executat într-un masiv de rocă clastică, caracterizat de $c = 0$ și $\varphi \neq 0$ (fig. XVI.110) și o particulă M de rocă, pe suprafața AB a acestui taluz, a cărei greutate este G. Asupra particulei acționează forțele T și T' (fig. XVI.110 *a*). Dacă taluzul este stabil, unghiul de taluz θ a fost ales în mod corespunzător atunci particula M va fi în echilibru. Condiția de echilibru limitată poate fi redată sub forma

$$T = T' \tag{4.1}$$

unde: $T = G \sin \theta$ ca și componentă a greutății particulei și care tinde să dezechilibreze particula; $T' = N \cdot f = N \cdot \operatorname{tg} \varphi = G \cos \theta \operatorname{tg} \varphi$ ca și forța de frecare ce se opune dezechilibrării; φ este unghiul de frecare interioară, iar $f = \operatorname{tg} \varphi$ coeficient de frecare.

Înlocuind în relația (4.1) expresiile celor două forțe se obține: $\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \theta$, adică: $\theta = \varphi$.

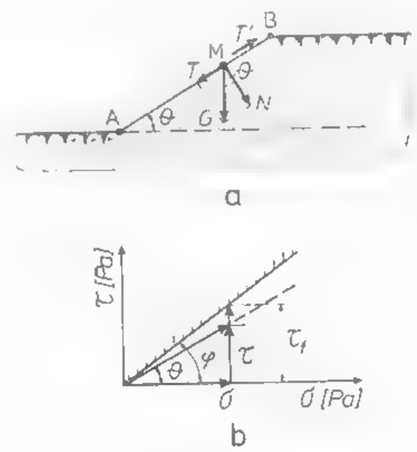


Fig. XVI.110. Taluz executat în roci clastice.

Plecînd de la expresiile eforturilor $\sigma = \frac{G}{A} \cos \theta$ și $\tau = \frac{G}{A} \sin \theta$ rezultă expresia unghiului de deviere (fig. XVI.110, *b*)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\tau}{\sigma} = \operatorname{tg} \theta \tag{4.2}$$

și $\theta - \beta$, adică unghiul de deviere este egal cu cel al taluzului $\theta = \beta$. Conform definiției factorului de stabilire (F_s) sau a coeficientului de siguranță, η rezultă că

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\sigma}{\tau} = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\theta} \tag{4.3}$$

La limită $T = T'$, adică $\theta = \beta$ și $F = 1$, rezultă că panta maximă a unui taluz stabil într-un masiv de rocă clastică nu depinde decît de unghiul de frecare interioară φ, adică: $\operatorname{tg}\theta_{critic} = \operatorname{tg}\theta_{max} = \operatorname{tg}\varphi$ și $\theta_{critic} = \theta_{max} = \varphi$ unde θ_{critic} este unghiul critic al taluzelor executate în roci clastice.

4.3.2. STABILITATEA TALUZELOR EXECUTATE ÎN MASIVE DE ROCĂ SLAB COEZIVĂ ȘI CU COEZIUNE MICĂ

În această situație (fig. XVI.111) roca este caracterizată prin $c \neq 0$ și $\varphi \neq 0$, iar ruperea se presupune că se realizează în conformitate cu ipoteza lui *Coulomb*, adică $\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\varphi$. Plecînd de la condiția de echilibru limită (4.1) în contextul că $\frac{T'}{A} = \sigma_f + c = \sigma \operatorname{tg}\varphi + c$ și $T = N \operatorname{tg}\theta$ sau $\tau_f = \operatorname{tg}\theta$, conform ipotezei de rupere considerate, rezultă după împărțire cu A (suprafața de alunecare) că

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{\tau_f}{\sigma} = \left(\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\sigma}\right) \tag{4.4}$$

adică:

Dar cunoscînd definiția unghiului de tăiere ψ (fig. XVI.111) ca fiind

$$\operatorname{tg}\psi = \left(\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\sigma}\right) \tag{4.5}$$

rezultă că: $\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\psi$ și $\theta = \psi$. Pentru masa de rocă de pe suprafața taluzului AB factorul de stabilitate este:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}\theta} = \frac{\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\sigma}}{\operatorname{tg}\theta} \tag{4.6}$$

Admițînd ipoteza că la limită efortul normal se transmite hidrostatic, $\sigma = \gamma_a \cdot H$, atunci factorul de stabilitate devine:

$$F_s = \frac{\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\gamma_a H}}{\operatorname{tg}\theta} \tag{4.7}$$

iar panta taluzului în punctul considerat

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{dz}{dx} = \frac{1}{F_s}\left(\operatorname{tg}\varphi + \frac{c}{\gamma_a \cdot h}\right) \tag{4.8}$$

expresie ce evidențiază factorii care condiționează stabilitatea taluzului și că valoarea unghiului de taluz este o variabilă în funcție de stabilitate și înălțimea taluzului h

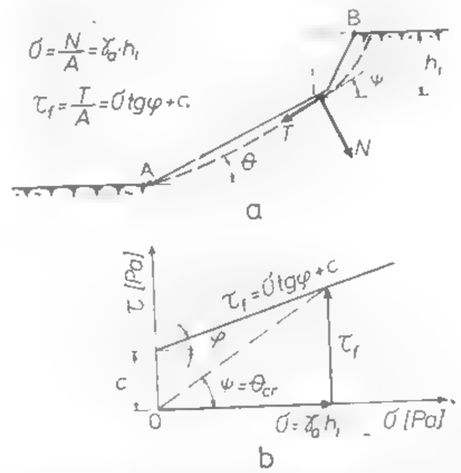


Fig. XVI.111. Taluz executat în roci slab coezive și cu coeziune mică.

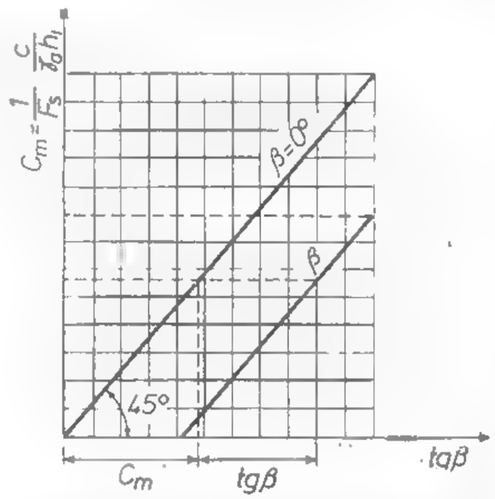


Fig. XVI.112. Abaca expresiei $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\varphi + C_m$

Dacă se notează cu C_s coeficientul de stabilitate ca fiind egal cu expresia adimensională (parametru fundamental care influențează stabilitatea taluzelor în roci coezive)

$$C_s = \frac{c}{\gamma_a h} \text{ rezultă că: } \operatorname{tg}\theta = \frac{1}{F_s}(\operatorname{tg}\varphi + C_s) \text{ sau dacă: } \operatorname{tg}\beta = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{F_s} \text{ și } C_m = \frac{C_s}{F_s}$$

atunci: $\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\beta + C_m$, expresie care se pretează la reprezentarea grafică sub forma unei abace (fig. XVI.112) ce permite determinarea unuia din termeni, cunoscînd pe ceilalți doi. De exemplu, în cazul proiectării se cunosc: parametrii c și φ; greutatea specifică aparentă γ_a, înălțimea taluzului h, se alege un factor de stabilitate $F_s = 1{,}1 - 1{,}2$ și se determină panta necesară admisă θ a taluzului; în cazul verificării unui taluz existent se cunosc: θ; c; φ; γ_a și se determină factorul de stabilitate F_s. Din ecuația diferențială (4.8), prin integrare, se obține ecuația curbei taluzului stabil pentru cazul rocilor slab coezive și cu coeziune mică de tipul pămînturilor și a rocilor argiloase

$$z = \frac{F_s}{\operatorname{tg}\varphi}\left[h - \frac{c}{\gamma_a \operatorname{tg}\varphi} \ln\left(h + \frac{c}{\gamma_a \operatorname{tg}\varphi}\right)\right] \tag{4.9}$$

care la partea superioară a taluzului are alura unei linii drepte verticale, deci pentru $h \to 0$; $\frac{dh}{dx} \to \infty$ și $\theta \to 90°$. Practic această curbă se circumscrie unui contur poligonal format din o înlănțuire de drepte pe înălțimi limitate (v. fig. XVI.111) mai ales în cazul masivelor sedimentare — stratificate

4.3.3. STABILITATEA TALUZELOR AFECTATE DE PREZENȚA PÎNZELOR ACVIFERE ÎN MASIVUL DE ROCĂ ÎN CARE SÎNT EXECUTATE

În cazul în care taluzul, executat într-un masiv de rocă clastică sau slab coezivă de tipul pămînturilor sau a rocilor argiloase, este străbătut de o pînză acviferă, aceasta va influența condițiile de stabilitate. Fie un astfel de taluz (fig. XVI.113) străbătut de linii de curent de apă subterană și care devin tangente la suprafața taluzului (adică $i = \sin\theta$), adică suprafața apei coincide cu suprafața taluzului AB. În acest caz eforturile pe planele paralele cu suprafața taluzului A vor fi

$\sigma = \gamma_{a\,sat.} \cdot h \cos^2\theta$; $\tau = \gamma_{a\,sat.} \cdot h \sin^2\theta$; $u = \gamma_w AB \cos\theta = \gamma_w h \cos^2\theta$ unde u este presiunea apei din porii rocii

În cazul rocilor clastice, deci $c = 0$, condiția *Coulomb* sau rezistența la forfecare-tăiere devine $\tau_f = (\sigma - u)\,\mathrm{tg}\varphi$; deci $\tau_f = (\gamma_{a\,sat.} \cdot h \cos^2\theta - \gamma_w \cos^2\theta)\,\mathrm{tg}\varphi$, iar $\tau = \gamma_{a\,sat.} \cdot h \cdot \sin\theta \cos\theta$ și la limită $\tau = \tau_f$, adică:

$$\mathrm{tg}\,\theta_{critic} = \mathrm{tg}\,\theta_{max} = \frac{\gamma_{a\,sat.} - \gamma_w}{\gamma_{a\,sat}}\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.10)$$

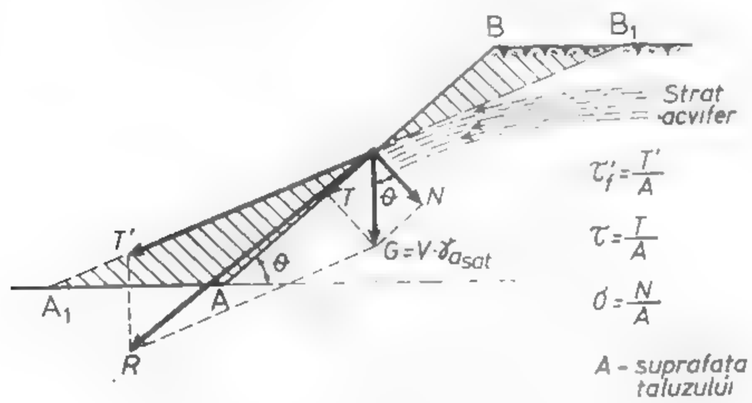


Fig. XVI.113. Taluz afectat de prezența pînzelor acvifere.

Deci prin prezența apei, panta taluzului stabil se reduce, de exemplu dacă $\varphi = 45°$ și $\gamma_{a\,sat.} = 2{,}7 \cdot 10^4$ N/m³ atunci $\theta = 32{,}4°$. În cazul rocilor slab coezive sau cu coeziune mică ($c = 0$ și $\varphi \neq 0$) expresia unghiului de taluz va fi dedusă în mod asemănător sub forma:

$$\mathrm{tg}\,\theta_{critic} = \mathrm{tg}\,\theta_{max} = \frac{c}{h \cdot \gamma_a \cos^2\theta_{cr}} + \frac{\gamma_{a\,sat.} - \gamma_w}{\gamma_{a\,sat}}\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.11)$$

și

$$\frac{c}{\gamma_a h} \cos^2\theta_{cr}(\mathrm{tg}\,\theta_{critic} - \frac{\gamma_{a\,sat.} - \gamma_w}{\gamma_{a\,sat}}\,\mathrm{tg}\,\varphi \qquad (4.12)$$

Condiția de echilibru devine: $T'' = T' + T$

unde: $T'' = \frac{N''\,\mathrm{tg}\,\psi}{F_s} = \frac{V \cdot \gamma_{a\,sat.}\,\mathrm{tg}\,\psi}{F_s} \cos\theta$; $T = V \cdot \gamma_{a\,sat.} \sin\theta$; $N = V \cdot \gamma_{a\,sat.} \cos\theta$

$T' = V \cdot \gamma_w \sin\theta$,

în care: $\gamma_{a\,sat.}$ este greutatea specifică aparentă a rocii submersate sau saturate; V — volumul particulei de rocă considerate, i — panta hidraulică sau gradientul hidraulic. Deci

$$\frac{V \cdot \gamma_{a\,sat}\,\mathrm{tg}\,\psi}{F_s} \cos\theta = V(\gamma_{a\,sat.} + \gamma_w) \sin\theta \qquad (4.13)$$

sau

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a\,sat.}}{\gamma_{a\,sat.} + \gamma_w}\,\mathrm{tg}\,\psi = \frac{1}{F_s} \cdot \frac{\gamma_{a\,sat.}}{\gamma_{a\,sat.} + \gamma_{sat}}(\mathrm{tg}\,\varphi + C_s) \qquad (4.14)$$

iar dacă $\gamma_{a\,sat.} = \gamma_w = 10$ kN/m³ atunci

$$\mathrm{tg}\,\theta = \frac{1}{2F_s}(\mathrm{tg}\,\varphi + C_s) \qquad (4.15)$$

Pe lîngă efectul hidrodinamic care reduce panta taluzului stabil la jumătate, prezența apei conduce și la micșorarea efortului efectiv, modificînd expresia coeficientului de stabilitate C_s adică

$$C_s = \frac{c}{\sigma} = \frac{c}{\sigma - u} = \frac{c}{\gamma_a h - u} = \frac{c}{\gamma_a h(1 - f_u)} \qquad (4.16)$$

unde: f_u este factorul presiunii apei în pori (u) adică $u = f_u \gamma_a h$

4.3.4. METODE APROXIMATIVE

Metodele aproximative de analiză a stabilității taluzelor de roci slabe se bazează în principal pe observațiile asupra ruperii taluzelor. Astfel, toate observațiile efectuate asupra pierderii stabilității taluzelor executate în roci cu coeziune slabă și coeziune mică au arătat că ruperea se produce de obicei pe suprafețe curbe ce pot fi asimilate cu suprafețe cilindrice circulare. Ca urmare, stabilitatea taluzelor poate fi analizată și prin determinarea celei mai critice suprafețe de rupere într-o secțiune transversală

a taluzului. Grupa acestor metode își găsește aplicabilitate numai în cazul rocilor suficient de plastice, în cazul rocilor din grupa celor ductile la care de fapt efortul mediu de forfecare constituie factorul important ce condiționează ruperea.

Se consideră o asemenea suprafață de rupere (fig. XVI. 114, *a*). Momentul de rupere M_r este momentul greutății segmentului G față de centrul O adică $G \cdot x$. Momentul de stabilitate M_s este produsul dintre rezistența la forfecare τ_f a rocii, de-a lungul suprafeței de rupere, lungimea arcului L și raza cercului R considerat.

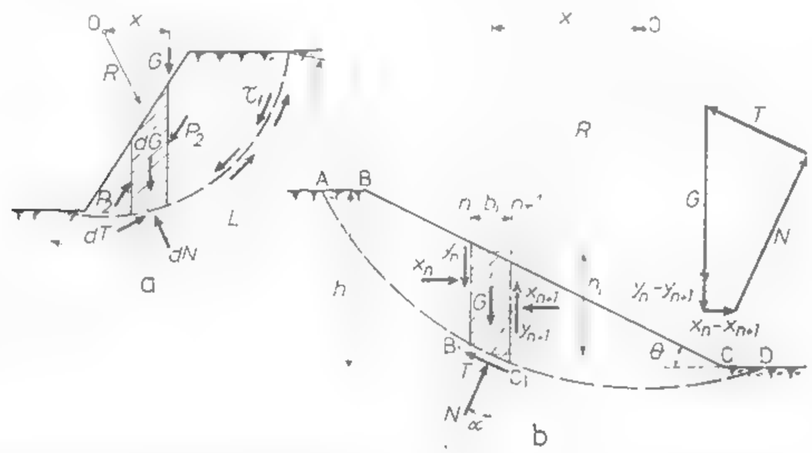


Fig. XVI.114. Principiul de calcul al stabilității taluzelor prin metoda aproximativă (procedeul fișiilor).

În situația considerată, rezistența la forfecare τ_f variază în lungul arcului de cerc, datorită variației efortului unitar normal σ și, ca urmare, arcul de cerc se împarte într-o serie de fișii verticale de lățimi limitate b_i și înălțimi medii h_i (fig. XVI.114, *b*). O asemenea fișie este supusă acțiunii următoarelor forțe: 1) greutatea fișiei $dG = \gamma_a h \cdot b = \gamma_a h' \cos \alpha$; 2) componenta normală a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dN sau, în cazul existenței și a unei pînze acvifere, forța efectivă intergranulară va fi $dN_1 = dN - U$, unde $U = u \cdot l$ sau $U = h_w \cdot \gamma_a h$; 3) componenta tangențială a reacțiunii pe suprafața ipotetică de rupere dT; 4) cele două forțe care acționează pe fețele laterale ale fișiei considerate P_1 și respectiv P_2 (fig. XVI.114, *a*) și care sînt de fapt nedeterminate.

Cu referire la aceste forțe există o serie de ipoteze simplificatoare. Astfel K n e y le consideră egale și de sens opus, ceea ce simplifică poligonul forțelor (fig. XVI.114, *b*), B i s h o p presupune o echilibrare numai a componentelor verticale (fig. XVI.114, *b*); S p e n c e r consideră că forțele P_1 și P_2 au același suport dar mărimi diferite etc. Astăzi calcularea acestor forțe poate fi realizată prin intermediul calculatoarelor electronice. Literatura de specialitate oferă o serie de metode și metodologii atît clasice cît și bazate pe procedee numerice de calcul. Se precizează că neglijarea de la început a acestor forțe nu conduce decît la o eroare de cel mult 10%, fapt acceptabil din punct de vedere practic.

La echilibru: $M_r = M_s$ adică: $\Sigma dT \cdot R = \Sigma(dN \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l)R$, iar coeficientului de siguranță va fi

$$\eta = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\Sigma(dT)}{\Sigma(dN \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l)} \tag{4.17}$$

și el se confundă cu F_s în ipoteza că F_s = constant pentru toate criteriile. Deci

$$\eta = F_s = \frac{\tau}{\tau_f} \tag{4.18}$$

și poate fi exprimat în funcție de coeziune

$$\eta = \frac{F_s c}{\gamma_a h} \tag{4.19}$$

Grupa acestor metode neglijează cea de a treia dimensiune, adică rezistența capetelor segmentului cilindric de rupere. Ca urmare a acestui fapt, indiferent de modul cum sînt determinați parametrii considerați în calcule (în situ sau laborator), rezultatele obținute sînt mai mari decît cele reale. Calea de laborator însă conduce la dimensionări prea acoperitoare. Din analiza acestui tip de metode rezultă că valoarea critică a unghiului de taluz sau maximă este funcție de următorii parametri adimensionali

$$\theta_{critic} = \theta_{max} = F\left(\frac{c}{\gamma_a h};\ \frac{q}{\gamma_a h};\ \frac{dl_f \varphi}{h};\ \frac{dz_f}{h};\ \varphi\right) \tag{4.20}$$

(fig. XVI.115) unde dl_f este adîncimea pînzei acvifere; dz_f — adîncimea de fisurare față de berma taluzului; q — supraîncărcarea bermei taluzului ca sarcină uniform repartizată.

Deoarece de multe ori suprafața de rupere diferă sensibil de una circular cilindrică (în cazul rocilor neomogene, a rocilor cu intercalații mai slabe produs al alterărilor etc.), s-au elaborat metode în care suprafața de lunecare are o formă oarecare — poligonală. Asemenea metode analizează din aproape în aproape, prin calcule laborioase,

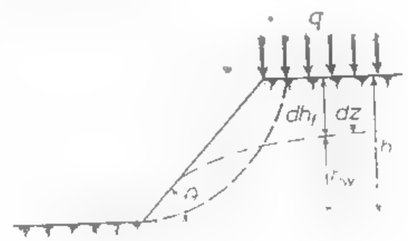


Fig. XVI.115. Valoarea critică a unghiului θ și factorii ce o influențează.

pînă la obținerea unui factor de stabilitate minim, căruia îi corespunde suprafața de alunecare critică. Cînd $F_s = 1$ suprafața corespunzătoare este cea reală sau de alunecare potențială. Metodele se pretează la utilizarea calculatoarelor. În ultimii ani se remarcă

tendința de a folosi la calculul stabilității taluzelor principiile variaționale. În acest context s-a plecat de la ideea de a stabili prin calcul forma suprafeței de rupere $y(x)$ pentru un profil dat al terenului; $f(x)$ rezultă din condiția că funcționalul reprezentat prin factorul de stabilitate F_s să fie minim, adică

$$F_s = \frac{\Sigma \int F_i(x, y, y')dx}{\Sigma \int G_i(x, y, y')dx} \qquad 4.21$$

Asemenea metode au avantajul că elimină necesitatea de a verifica mai multe suprafețe potențiale de rupere.

4.4. MĂSURI DE PREVENIRE ȘI CONTROL ÎN CAZUL EXECUTĂRII TALUZELOR

Cu toate aspectele considerate în faza de proiectare, pentru asigurarea stabilității taluzelor se impun și în continuare, în faza de verificare a proiectului de execuție și de exploatare, să fie luate o serie de măsuri de prevenire și control a ruperii acestor lucrări. În general, pierderea stabilității și ruperea taluzelor este o consecință a creșterii stării secundare de tensiune și a reducerii rezistenței rocii. Prin urmare, se impun luarea de măsuri pentru evitarea acestor efecte.

Astfel, adoptarea cu strictețe a unghiurilor de taluz proiectate și urmărirea să nu se mărească în timp asemenea pante, mai ales cînd la baza taluzului se află o rocă mai slabă și care poate fi extrasă prin excavații necorespunzătoare, ducînd la subminarea taluzului.

Rezistența rocii se poate reduce sub efectul exploziilor folosite la excavare. Ca urmare, taluzul trebuie bine curățit (copturit), trebuie luate în considerare mărirea numărului de găuri de mină și reducerea cantității de exploziv pentru evitarea afînării rocii și a fisurării ei în adîncime, chiar dacă această operație poate costa mai mult.

Deteriorarea suprafeței taluzului se poate produce și prin fenomenul de îngheț-dezgheț, a acțiunii apei și aerului asupra rocii, a umflării produselor de alterare existente în fisuri. Printr-o drenare a apei de suprafață la creasta taluzului, asemenea fenomene se pot evita.

Concentrările de eforturi pot crește în urma depozitării materialului excavat pe creasta taluzelor. Depozitarea materialelor trebuie realizată pînă la o distanță, față de creasta taluzului, de circa 1/2 din înălțimea lui.

Drenarea apei subterane constituie un factor esențial în menținerea stabilității taluzelor, cu toate că o coborîre efectivă a nivelului apei subterane în masive de rocă este foarte dificilă, atît din punct de vedere tehnic, cît și economic.

5. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ ȘI PLANȘEELOR

5.1. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

5.1.1. CONSIDERAȚII GENERALE ASUPRA CALCULULUI DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANȚĂ

În cazul unor zăcăminte de substanțe minerale utile (sare gemă, săruri de potasiu și magneziu, minereuri de fier, gips, cretă etc.) precum și la unele zăcăminte de roci utile (calcare, marne, caolin, argile etc.) s-a aplicat și continuă să se aplice, în mod curent, *metoda de exploatare cu camere și pilieri* (definitivi sau temporari).

Odată cu dezvoltarea și modernizarea tehnicii de forare a găurilor de mină, s-a trecut la extinderea metodei de exploatare cu camere și pilieri, și la extragerea altor tipuri de zăcăminte de minereu, fiind cunoscută ca o metodă de mare producție și productivitate. Această metodă a căpătat o largă extindere în cazul claselor de metode de exploatare

- cu goluri remanente cu extragerea în subetaje sau pe toată înălțimea etajului;
- cu înmagazinarea minereului în spațiul exploatat.
- cu surparea rocilor înconjurătoare.

Susținerea spațiului exploatat cu pilieri de siguranță (temporari sau definitivi) reprezintă unul din procedeele de dirijare a presiunii miniere cele mai simple și mai vechi aplicate în minerit.

Privită din punct de vedere tehnic, această metodă de dirijare a presiunii poate fi aplicată atunci cînd minereul și rocile înconjurătoare au o tărie și o stabilitate mare. De asemenea, această metodă se mai poate aplica și atunci cînd nu se dorește provocarea unor deplasări și surpări ale rocilor din acoperișul zăcămîntului, care să afecteze terenul de la suprafață, oricare ar fi natura substanțelor minerale utile respective.

Pilierii de siguranță definitivi, cu rol de susținere a spațiului exploatat, în cadrul metodei de exploatare aplicată la extragerea, în general, a zăcămintelor de săruri și unele materiale de construcții au forme geometrice regulate și sînt, de asemenea, dispuși într-o rețea geometrică regulată.

În categoria pilierilor de siguranță definitivă mai intră și aceia necesari pentru protecția puțurilor de mină și a obiectivelor industrial-sociale și naturale de deasupra perimetrelor miniere în exploatare.

Pilierii de siguranță temporari întîlniți în cadrul metodelor de exploatare din clasele amintite, denumiți *pilieri de etaj*, se lasă deasupra, dedesubtul sau în jurul lucrărilor principale de pregătire, cu scopul de a susține atît lucrările de abataj, cît și de pregătire.

În cadrul pilierilor temporari se întîlnesc și *pilieri de bloc*, lăsați între camerele vecine și păstrați numai pe perioada exploatării etajului.

Pentru asigurarea stabilității camerelor și pentru micșorarea pierderilor mari de substanță minerală utilă, *pilierii definitivi* de susținere a camerelor trebuie să fie dimensionați. Pilierii de siguranță ai puțurilor de mină, sau ai obiectivelor de la supra-

lată se trasează prin construcţii geometrice, pe baza cunoaşterii unghiului de frecare.

Pentru stabilirea dimensiunilor optime ale pilierilor de siguranţă definitivi de susţinere a camerelor de exploatare se impune ca de la început să se cunoască următoarele elemente de calcul

felul, mărimea şi repartizarea stărilor de tensiune din interiorul pilierilor de susţinere

caracteristicile fizico-mecanice ale pilierilor de susţinere,

felul şi mărimea deformărilor pe care le suferă pilierii de susţinere din cauza eforturilor la care sînt supuşi.

Din observaţiile practice, experimentările *in-situ* şi de laborator, se admite astăzi că asupra pilierilor de siguranţă de susţinere a camerelor de exploatare, acţionează numai eforturi statice de compresiune datorite greutăţii lor proprii şi greutăţii unei anumite părţi din zăcămîntul exploatat şi din rocile înconjurătoare. Sarcina dezvoltată de rocile ce apasă pe pilierul de siguranţă este denumită *presiune litostatică* şi se datoreşte forţelor de gravitaţie

Presiunea litostatică dă naştere în interiorul pilierilor de siguranţă, de susţinere la anumite stări de tensiune a căror mărime şi distribuţie este funcţie de forma şi dimensiunile lor, caracteristicile lor geologice şi petrografice şi caracteristicile fizico-mecanice ale materialului din care sînt constituiţi

Se admite astăzi, în domeniul mecanicii rocilor, în care se consideră că masivul de roci se comportă ca un corp elastic, omogen şi izotrop, că starea de tensiune primară se poate exprima într-un sistem de coordonate triaxiale rectangulare prin relaţiile (3.1) şi (3.2)

Odată cu începerea exploatării zăcămîntului considerat, cu crearea camerelor şi formarea pilierilor de susţinere, se modifică fundamental atît mărimea, sensul şi distribuţia tensiunilor care acţionează asupra tavanului, vetrei şi pereţilor camerelor cît şi repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susţinere.

Pilieri de siguranţă, de susţinere a camerelor, sînt constituiţi din roci ce reprezintă corpuri neomogene, anizotrope cu caracteristici geologico-petrografice diferite.

Încercările de laborator efectuate de M. Stamatiu în stabilirea rezistenţelor mecanice ale rocilor au confirmat faptul că valorile acestora depind de forma şi mărimea epruvetei încercate

Pilierii de susţinere ai camerelor vor avea, de asemenea, valori ale caracteristicilor mecanice de rezistenţă dependente de forma şi mărimea proiectată. Felul şi mărimea deformărilor pe care le suferă pilieri de susţinere este rezultatul eforturilor de compresiune la care aceştia sînt supuşi

Mărimea deformărilor este funcţie de modul de aproximare a comportamentului materialului constitutiv al pilierilor: elastic, elasto-plastic sau plastic. Existenţa în timp a pilierilor sub acţiunea solicitărilor la care sînt supuşi impune, de asemenea, luarea în considerare, în stabilirea mărimilor deformărilor, a caracteristicilor reologice, în principal a fluajului rocilor din care sînt constituiţi pilierii

O clasificare a procedeelor de calcul şi verificare trebuie să aibă la bază, felul mărimea şi repartizarea tensiunilor din interiorul pilierilor de susţinere, în dependenţă cu caracteristicile mecanice. În funcţie de acest criteriu, procedeele de calcul şi de verificare elaborate pînă în prezent pot fi clasificate în patru grupe

A. Procedee bazate pe ipoteza repartiţiei uniforme şi a rezistenţei constante la compresiune. În această grupă intră procedeele de calcul şi verificare elaborate de *Fournaire, Haton de la Goupillère, L. D. Şeviakov*

B. Procedee bazate pe ipoteza repartizării uniforme a tensiunilor în pilieri şi a rezistenţei la compresiune, variabile cu forma şi dimensiunea pilierilor. Sînt cuprinse în această grupă, procedeele de verificare şi calcul propuse de *K. Kegel, M. Stamatiu*

C. Procedee bazate pe ipoteza repartiţiei neuniforme a tensiunilor, în pilieri şi a parabolei de presiune. Aceste procedee aparţin autorilor *M. M. Protodiakonov, S. S. Davidov, M. Stamatiu, P. M. Ţimbarevici,, K. V. Ruppeneit.*

D. Procedee bazate pe modelarea matematică a stărilor de tensiune şi deformare pe baza legilor de dependenţă date de mecanica corpurilor solid deformabile. În această grupă intră metodele de calcul propuse de *P. M. Ţimbarevici, K. V. Ruppeneit,* care au la bază teoria elasticităţii, precum şi metodele moderne actuale de modelare a tensiunilor şi deformaţiilor prin metoda elementelor finite

Dintre procedeele de calcul amintite, se vor trata în continuare numai acelea care au o largă aplicabilitate şi ale căror rezultate au fost confirmate de practica minei casă

5.1.2. PROCEDEE DE CALCUL ŞI VERIFICARE A DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SIGURANŢĂ

Procedeul de calcul propus de M. Stamatiu. Face parte din grupa procedeelor de calcul bazate pe ipoteza repartiţiei neuniforme a tensiunilor în pilieri şi a parabolei de presiune, cu aplicare la exploatarea sării pe cale solidă, cu camere mici

Autorul, în elaborarea procedeului său de calcul, admite ipotezele lui *Ritter* şi *Coulomb* referitoare la modul de repartizare a eforturilor datorite rocilor înconjurătoare asupra tavanului şi pereţilor camerelor şi anume (fig. XVI.116)

— o anumită parte din pilierul de susţinere de lăţime d_2 este supus unui efort de compresiune, egal cu greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafaţa terenului

părţile din pilier, situate în apropierea pereţilor camerelor, sînt supuse la eforturile datorite greutăţii corpurilor parabolice care se formează deasupra tavanului camerelor şi care tind să producă ruperea prin alunecare a pilierului după suprafeţele AE, respectiv $A'E'$ înclinate cu un unghi φ faţă de orizontală.

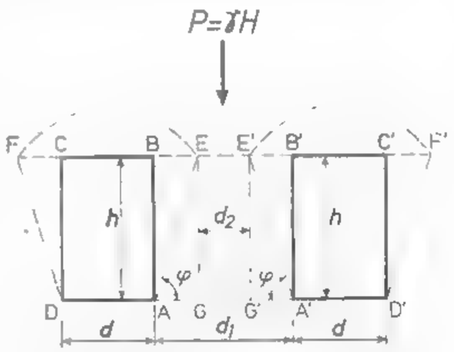


Fig. XVI.116. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susţinere (după M. Stamatiu).

Pe baza celor arătate, lăţimea pilierului de susţinere se poate calcula cu relaţia:

$$d_1 = d_2 + 2h \operatorname{ctg} \varphi \qquad (5.1)$$

în care d_1 este lăţimea stîlpului, m; h — înălţimea camerei, m.

În urma încercărilor de laborator, autorul a stabilit relaţia de dependenţă a rezistenţei de rupere la compresiune, funcţie de dimensiunile epruvetei încercate de forma

$$R_c' = R_c \sqrt{\frac{l}{h}} \qquad (5.2)$$

în care: R'_c este rezistența de rupere la compresiune a prismei cu secțiune pătrată, da N/cm²

R — rezistența de rupere la compresiune a epruvetelor în formă de cub, confecționate din același material ca și prismele, da N/cm²

l — lățimea epruvetei, cm;

h — înălțimea epruvetei, cm

Pilierului de susținere $GEE'G'$, de forma unei prisme cu lățimea d_2 și înălțimea h, i se poate aplica relația (5.2).

În acest caz, condiția de rezistență este

$$P d_2^2 = R' d_2^2 = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}}\, d_2^2 \text{ sau } P = \gamma_a H \leqslant R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \qquad (5.3)$$

La limită se va obține

$$\gamma_a H = R_c \sqrt{\frac{d_2}{h}} \text{ sau } d_2 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} \qquad (5.4)$$

Înlocuind relația (5.4) în relația (5.2) se obține

$$d_1 = \frac{\gamma_a^2 H^2 h}{R_c^2} + 2h \operatorname{ctg}\varphi = \left(\frac{\gamma_a^2}{R_c^2} H^2 + 2 \operatorname{ctg}\varphi\right) h \qquad (5.5)$$

unde: γ_a este greutatea volumetrică medie a coloanei de roci de la pilierul de susținere pînă la suprafața terenului, N/cm³; H — adîncimea de exploatare, m; φ — unghiul de frecare interioară a rocilor

Procedeul de calcul al lui L. D. Șeviakov. Face parte din grupa procedeelor de calcul având la bază ipoteza repartiției uniforme a tensiunilor în pilierii de susținere și a rezistenței constante la compresiune.

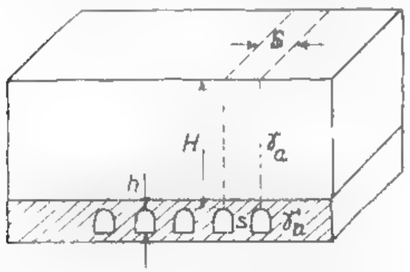


Fig. XVI.117. Schema cu elementele de calcul ale pilierilor de susținere (după L. D. Șeviakov).

Se consideră că sarcina asupra pilierului de susținere este dată de greutatea întregii coloane de roci pînă la suprafața de la zi, iar repartizarea acestei sarcini în secțiune orizontală a pilierului este constantă.

Condiția de stabilitate a pilierului, conform schemei de calcul adoptată, este dată de relația (fig. XVI.117):

$$S \cdot H\gamma_a + s \cdot h\gamma'_a = s\frac{\sigma_c}{n} \qquad (5.6)$$

în care: H este adîncimea de la suprafață pînă la partea superioară a pilierului de susținere, m;

h — înălțimea pilierului de susținere, m

S — suprafața secțiunii orizontale a prismei de roci acoperitoare ce revine unui pilier de susținere, m²

s — suprafața secțiunii orizontale a pilierului, în m²

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³

γ'_a — greutatea volumetrică a materialului pilierului, MN/m³

n — coeficient de siguranță, cu valori între 1,5—3;

σ_c — rezistența medie de rupere la compresiune a rocii din pilier, MN/m²

Din relația (5.6) se poate deduce

$$\frac{S}{s} = \frac{\sigma_c}{nH\gamma_a} - \frac{\gamma'_a h}{\gamma_a H} \qquad (5.7)$$

În funcție de dimensiunile camerelor de exploatare proiectate, prin exprimarea geometrică a raportului S/s și înlocuirea în relația (5.7) se obțin relațiile de calcul pentru diferite forme de pilieri de susținere.

— Pilieri lungi continui (fig. XVI.118)

$$\frac{S}{s} = \frac{A + x}{x} = 1 + \frac{\sigma_c}{nH\gamma_a} - \frac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} \qquad (5.8)$$

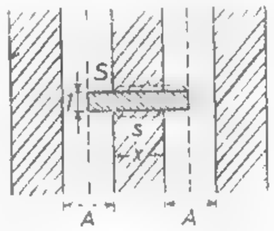


Fig. XVI. 118. Pilieri lungi continui.

pilieri scurți cu secțiune pătrată (fig. XVI.119):

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)^2}{x^2} = 1 + \sqrt{\frac{\sigma_c}{n \cdot H \cdot \gamma_a} - \frac{h\gamma'_a}{H\gamma_a}} \qquad (5.9)$$

Pilieri scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere cu lățime constantă (fig. XVI.120)

$$\frac{S}{s} = \frac{(A + x)(A + L)}{x \cdot L} = 1 + \frac{\frac{A^2}{L} + A}{\frac{\sigma_c}{n \cdot H\gamma_a} - \frac{h\gamma'_a}{H\gamma_a} - \frac{A}{L}} \qquad (5.10)$$

Pilieri scurți cu secțiune dreptunghiulară, înconjurați de camere [illegible] lățime diferită (fig. XVI.121)

[illegible]

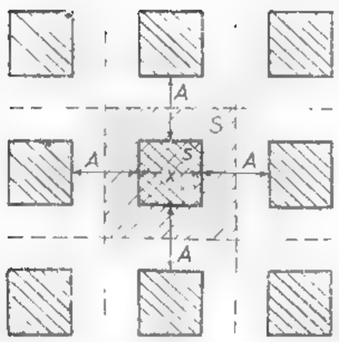


Fig. XVI.119. Pilieri scurți cu secțiune pătrată.

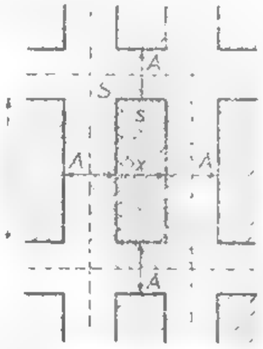


Fig. XVI.120. Pilieri dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime constantă.

unde: A, B sînt dimensiunile camerelor de exploatare, m; L este lungimea camerelor de exploatare, m; x — lățimea pilierilor de susținere, m.

Relațiile stabilite mai sus de autor sînt de dimensionare, însă practic s-a demonstrat că pentru a obține rezultate corecte, se impune ca valorile σ_c și n să fie judicios alese și să rezulte din încercări de laborator și observații practice.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Relația propusă de autor pentru verificarea dimensiunilor pilierilor de susținere are la bază ipoteza cercetătorului francez *Tournaire*. Se consideră, că rezistența de rupere la compresiune a pilierilor s-o fie mai mare, sau cel puțin egală cu sarcina de compresiune la care aceștia sînt supuși sarcină datorită greutății terenului acoperitor și a substanței minerale utile din planseul de protecție superior, cum și a greutății lor proprii (fig. XVI.122).

Din principiul de calcul enunțat mai sus, autorul a stabilit relația

$$S\gamma_a(H - e) + S\gamma_{a1}e + s\gamma_{a1}h \leqslant s\sigma_c \qquad (5.12)$$

în care: s este suprafața totală în secțiune orizontală a tuturor stîlpilor egali, [illegible] $m \cdot s_1$, m²

S — suprafața câmpului de exploatare, m²

s_1 — suprafața în secțiune orizontală a unui pilier, m²

m — numărul pilierilor de aceeași formă

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul camerelor, m

γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor acoperitoare, MN/m³;

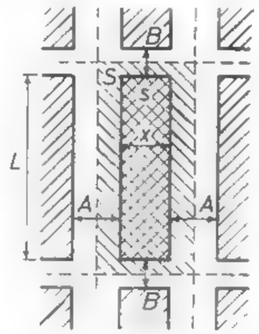


Fig. XVI.121. Pilieri dreptunghiulari, înconjurați de camere cu lățime diferită.

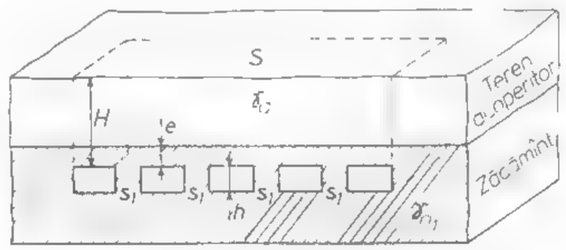


Fig. XVI.122. Schemă de calcul a pilierilor de susținere, după procedeul de verificare a lui M. Stamatiu.

γ_{a1} — greutatea volumetrică a rocii din pilier, MN/m³;

e — grosimea medie de protecție de deasupra camerelor de exploatare, m

h — înălțimea pilierilor de susținere, m

σ_c — rezistența medie efectivă de rupere la compresiune a rocii din pilieri, MN/m²

n — coeficient de siguranță cu valorile 1,5—3 recomandate de autor

Din relația (5.12) se deduce:

$$s \geqslant \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\sigma_c - \gamma_{a1}h} \text{ sau } \frac{s}{S} = \frac{\gamma_a H + e(\gamma_{a1} - \gamma_a)}{\frac{\sigma_c}{n} - \gamma_{a1}h} \qquad (5.13)$$

La pilierii de susținere de formă cubică sau prismatică, pentru determinarea valorii lui σ_c, autorul recomandă, pe baza a numeroase încercări de laborator, folosirea relațiilor

pentru cuburi

$$\sigma_c = \sigma'_c + k\sqrt{l} \qquad (5.14)$$

pentru prisme cu secțiune pătratică

$$\sigma_c = (\sigma'_c + k)\sqrt{\frac{l}{n}} \qquad (5.15)$$

în care σ'_c este rezistența de rupere la compresiune a unui cub cu latura infinit mai mică, determinată prin încercări monoaxiale, daN/cm²

k — constantă a materialului, cu valori între 43–50, pentru diferite tipuri de sare gemă,

l — lungimea muchiei cubului sau lățimea prismei pătrate, cm

h — înălțimea prismei cu secțiune pătrată, cm

Pentru exactitatea calculelor, folosind relațiile (5.14, 5.15) se impune ca raportul $h/l < 15$.

Dacă în urma calculelor efectuate cu relația (5.13) rezultă că $s/S = 1$, adică S, respectiv suprafața orizontală a tuturor pilierilor de susținere este egală cu suprafața cîmpului de exploatare, teoretic zăcămîntul respectiv nu mai poate fi exploatat prin metode subterane obișnuite.

Din relația (5.13) se poate deduce, în acest caz, adîncimea maximă H_m pînă la care se pot efectua — teoretic, sau practic — exploatări cu camere și pilieri într-un zăcămînt dat

$$H_m\ (teoretic) = \frac{\sigma_c - \gamma_a e - \gamma_{a1} h - e}{\gamma_a} \qquad (5.16)$$

$$H_m\ (practic) = \frac{\frac{\sigma_c}{n} - \gamma_a e - \gamma_{a1} h - e}{\gamma_a} \qquad (5.17)$$

În paragrafele de mai sus, au fost expuse două procedee de calcul a dimensiunilor pilierilor de susținere și un procedeu de verificare. Ținîndu-se în vedere atît experiența practică a exploatării zăcămintelor de sare gemă din țara noastră, cît și rezultatele calculelor confirmate de practică și efectuate de *M. Stamatiu* în lucrarea „Problema dimensionării stîlpilor la minele din R.S.România" — metodologiile expuse pot fi folosite în continuare în proiectarea exploatării zăcămintelor de sare în stare solidă.

De asemenea, aceste metode pot fi folosite și la stabilirea dimensiunilor pilierilor dintre camere și de panou sau de bloc.

5.1.3. CALCULUL DIMENSIUNILOR PILIERILOR DE SUSȚINERE LA EXPLOATAREA SĂRII PRIN DIZOLVARE CINETICĂ

În exploatarea sării geme s-au extins pe scară largă metodele de exploatare prin dizolvare cinetică. În funcție de procesul tehnologic aplicat, exploatarea prin dizolvare a sării are loc în excavații de formă cilindrică cu tavanul plan, boltit sau boltă retezată, separate între ele prin pilieri de susținere, care, în plan orizontal, au forme în funcție de modul de așezare în rețea geometrică a cilindrilor de dizolvare. Pe scară largă se practică așezarea cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară (fig. XVI.123).

Dimensiunile pilierilor de susținere depind de diametrul cilindrilor de dizolvare și de distanța dintre axele lor verticale. Pentru calculul dimensiunilor acestor stîlpi nu se mai pot aplica relațiile și formulele stabilite de autori pentru metoda de exploatare cu camere și pilieri de susținere, deoarece aceste relații și formule se referă la pi-

lieri de formă prismatică cu secțiune orizontală pătrată sau dreptunghiulară. În prezent, există, în această privință, numai posibilitatea de verificare la eforturi la compresiune a pilierilor de susținere cu dimensiuni prealabil alese.

În practica exploatării prin dizolvare a zăcămintelor de sare din țara noastră, la rezultate bune a condus procedeul de verificare propus de M. Stamatiu.

Procedeul de verificare propus de M. Stamatiu. Pentru stabilirea relației de verificare s-a impus condiția ca sarea din pilieri de susținere să nu se rupă sub acțiunea greutății planșeului de protecție de sare, a terenurilor acoperitoare (de deasupra acestuia) a greutății lor proprii și a contra-presiunii exercitate de saramura saturată aflată în cilindrii de dizolvare (fig. XVI.124).

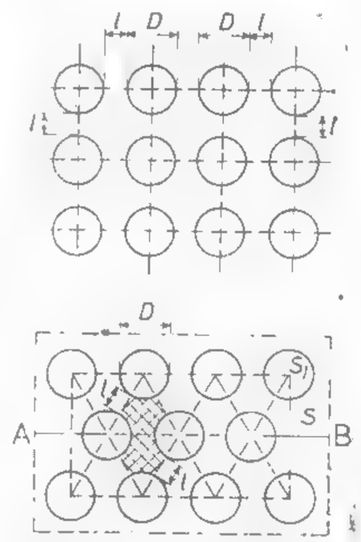


Fig. XVI.123. Distribuția cilindrilor de dizolvare în rețea pătratică sau triunghiulară.

Relația stabilită este de forma:

$$S \cdot H \cdot \gamma_a + s(\gamma_{a1} - \gamma_a) + s \cdot h \cdot \gamma_a$$

$$(S - s)\gamma_a H \leq \frac{\sigma_c}{n} \cdot s \qquad (5.18)$$

unde: S este suprafața cîmpului de exploatare, m²

s — suprafața totală a stîlpilor de susținere, m²

N — numărul cilindrilor de dizolvare în cîmpul de exploatare;

$S_c = S - s$ este suprafața totală a cilindrilor de dizolvare, m²,

$s_1 = \frac{S - s}{N} = \frac{S_c}{N}$ — suprafața în plan orizontal a unui cilindru de dizolvare, m²

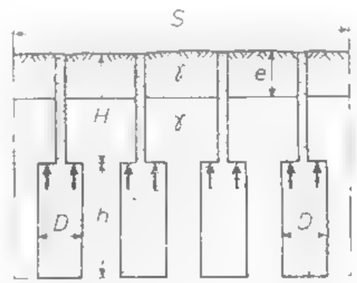


Fig. XVI.124. Procedeu de calcul și verificare a pilierilor dintre cilindrii de dizolvare, după M. Stamatiu.

H — adîncimea de la suprafață pînă la tavanul cilindrilor de dizolvare a unui etaj oarecare, m,

e — grosimea terenurilor ce acoperă zăcămîntul de sare, m

h — înălțimea cilindrilor de dizolvare egală cu a pilierilor de susținere, m
γ_a — greutatea volumetrică a sării geme, MN/m
γ_{a1} — greutatea volumetrică medie a terenurilor acoperitoare, MN/m³
γ_{as} — greutatea volumetrică a saramurii saturate, MN/m³;
σ_c — rezistența de rupere la compresiune a sării din pilierul de susținere, MN/m²
n — coeficient de siguranță, se stabilește pe bază de experiență practică: $n = 15$ — dacă cilindrii de dizolvare nu sînt plini de saramură, $n < 5$ — dacă sînt plini cu saramură.

În cazul cînd $e = 0$ sau $\gamma_a = \gamma_{a1}$, ceea ce corespunde în cele mai multe cazuri condițiilor practice, relația (5.18) devine

$$S \cdot H\gamma_a + s \cdot h\gamma_a - (S - s)\gamma_{as} H \leqslant \frac{\sigma_c}{n} s \tag{5.19}$$

de unde rezultă

$$S = \frac{\frac{\sigma_c}{n} - (\gamma_a - \gamma_{as})H}{H\gamma_a} \tag{5.20}$$

Pentru calculul valorii lui σ_c, autorul recomandă folosirea relației (5.15), înțelegînd prin l distanța minimă dintre doi cilindri de dizolvare.

5.2. PROIECTAREA ȘI DIMENSIONAREA CAMERELOR DE EXPLOATARE ȘI GROSIMII PLANȘEELOR DINTRE ETAJE

5.2.1. DESCHIDEREA CAMERELOR LA TAVAN

Procedeul lui Ritter. Conform ipotezei lui *Ritter* presiunea care apasă asupra unei lucrări miniere orizontale este dată de relația

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{\gamma_a d^2}{48\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\gamma_a} \right) \tag{5.21}$$

în care: γ_a este greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul lucrării, MN/m³;
d — deschiderea (lățimea) la tavan a lucrării subterane, m
σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii din tavan, MN/m²

Notînd: $\frac{\sigma_t}{\gamma_a} = u$ și înlocuind în relația de mai sus rezultă

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \tag{5.22}$$

Deschiderea maximă la tavan a unei camere de exploatare rezultă din condiția

$$P = \gamma_a \cdot d \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) = 0 \tag{5.23}$$

Din relația (5.23) rezultă, pentru d, trei valori

$$d_1 = 0 \text{ și } d_{2,3} = \pm u\sqrt{48} = \pm 4u\sqrt{3} = \pm 7u \tag{5.24}$$

Dintre aceste două rădăcini admisibilă este numai una: $d = +u\sqrt{48}$. Pentru valori ale lui $0 < d < u\sqrt{48}$ tavanul lucrării miniere nu trebuie susținut, deoarece presiunea asupra tavanului este egală cu zero.

În practică, în funcție de configurația zăcămîntului, se proiectează exploatarea unor camere cu o deschidere la tavan mai mare ca cea maximă: $d > u\sqrt{48}$; atunci se impune boltirea tavanului. Înălțimea de boltire se determină din condiția limită, impunînd ca greutatea corpului parabolic, redus ca greutate prin boltirea tavanului, să fie egală cu forțele de coeziune după bolta de echilibru.

În acest caz, greutatea corpului parabolic cuprins între tavanul boltit și cel plan este:

$$P' = \frac{2}{3}\gamma_a d \cdot b \tag{5.25}$$

unde b este înălțimea de boltire a tavanului.

Condiția de echilibru a tavanului boltit va fi:

$$P - P' = 0 \tag{5.26}$$

Înlocuind în expresia (5.26) relațiile (5.23 și 5.25) se duce:

$$b = \frac{3}{2} \left(\frac{d^2}{48u} - u \right) \tag{5.27}$$

Procedeul de calcul al lui Protodiakonov. Presiunea litostatică exercitată asupra tavanului unei lucrări subterane orizontale executată în roci omogene, conform teoriei boltii echilibrului natural, după autor se exprimă cu relația:

$$P = \frac{4}{3} \cdot \gamma_a \frac{a^2}{f} \tag{5.28}$$

în care: a este semideschiderea la tavan a lucrării, m;
f — coeficientul de tăiere al rocii din tavan după Protodiakonov,
γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavan, MN/m²;

Bolta echilibrului natural — după acest autor — este o boltă parabolică.

Lungimea arcului de parabolă ce delimitează bolta de echilibru, pentru o lungime egală cu 1 m a lucrării subterane și în cazul cînd raportul h/a este foarte mic, se

poate exprima cu aproximație prin relația:

$$2s = 2a\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{1}{f}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{f}\right)^4\right] \qquad (5.29)$$

în care: s este lungimea arcului de parabolă;
h — înălțimea bolții parabolice.

Considerîndu-se după autor $\frac{h}{a} = \frac{1}{f}$ și punînd condiția — la limită — ca greutatea corpului parabolic să fie egală cu rezistența la tracțiune a acestui corp după bolta parabolică, se obține:

$$\frac{4}{3}\gamma_a \frac{a^2}{f} = 2a\sigma_t\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{1}{f}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{f}\right)^4\right]$$

sau

$$2a = 3f\frac{\sigma_t}{\gamma_a}\left[1 + \frac{2}{3}\left(\frac{1}{f}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{f}\right)^4\right] \qquad (5.30)$$

Considerînd pentru sare $f = 3$, din (5.30) rezultă.

$$2a \cong 9{,}5\,\frac{\sigma_t}{\gamma_a} \qquad (5.31)$$

După teoria lui *Ritter*, $d = 2a = u\sqrt{48} \cong 7\,\frac{\sigma_t}{\gamma_a}$ (5.32)

Se poate trage concluzia că cele două procedee de calcul dau rezultate asemănătoare.

5.2.2. CALCULUL LUNGIMII UNEI CAMERE

Literatura de specialitate recomandă relația lui *H. Borger*, în care se pune condiția ca tavanul unei camere de exploatare la un zăcămînt de sare să nu se surpe sub greutatea sării de deasupra lui.

Conform ipotezei enunțate la limită, relația este

$$2H \cdot \sigma_f(d + l) = \gamma_a H \cdot d \cdot l \qquad (5.33)$$

în care: d reprezintă lățimea camerei la tavan,
l — lungimea camerei de exploatare;
σ_f — rezistența de rupere la forfecare a sării;
γ_a — greutatea volumetrică medie a sării.

În relația (5.33) expresia $\gamma_a H \cdot d \cdot l$ — reprezintă greutatea sării de deasupra camerei, iar expresia $2H\sigma_f(d + l)$ condiția de rezistență la forfecare a pereților camerei.

Din relația (5.33) se poate determina lungimea unei camere:

$$l = \frac{d}{\frac{d \cdot \gamma_a}{2\sigma_f} - 1} \qquad (5.34)$$

5.2.3. CALCULUL ÎNĂLȚIMII UNEI CAMERE

Pentru calculul înălțimii unei camere de exploatare, literatura de specialitate indică mai multe metodologii, în funcție de forma acesteia și de ipoteza de manifestare a presiunii adoptată.

Extinderea metodelor de exploatare a sării geme pe cale uscată cu camere mici pătrate sau dreptunghiulare face posibilă folosirea relației lui *Ritter*, stabilită pe baza bolții de echilibru.

Relația stabilită de autor este de forma:

$$\frac{1}{2}\gamma_a \cdot d\left(\frac{d^2}{48u} - u\right) \leqslant \sigma_f \cdot h \qquad (5.35)$$

unde: d reprezintă deschiderea la tavan a camerei, m;
σ_f — rezistența de rupere la forfecare a rocii din tavanul camerei, MN/m²
h — înălțimea camerei, m;
γ_a — greutatea volumetrică medie a rocilor din tavanul camerei, MN/m²,

$u = \frac{\sigma_t}{\gamma_a}$;

σ_t — rezistența de rupere la tracțiune a rocii respective, MN/m².

Din relația (5.35) se poate determina înălțimea camerelor cu secțiune pătrată sau dreptunghiulară în plan orizontal.

5.2.4. CALCULUL DIMENSIUNILOR PLANȘEULUI DINTRE CAMERE

Dezvoltarea exploatării pe verticală, în cazul extragerii zăcămintelor de grosime mare și foarte mare, implică lăsarea între etaje a planșeelor de siguranță, cu rolul de a mări siguranța în exploatare și crește stabilitatea pilierilor de susținere. Exploatarea etajelor decurge aproape în exclusivitate. În acest caz, singurele forțe care acționează asupra unui planșeu sînt greutatea sa proprie și greutatea relativ redusă a instalațiilor subterane (căi ferate, trolii, locomotive etc.).

Constructiv, planșeul dintre două camere se poate considera ca o placă groasă încastrată în pereții acestora. Pentru stabilirea dimensiunilor planșeelor dintre etaje, literatura de specialitate recomandă procedee de calcul și de verificare

Calculul grosimii planşeului. Pentru aceasta se aplică ecuaţia fundamentală a grinzii drepte cu secţiune constantă, încastrată la extremităţi, bazată pe ipotezele lui *Bernoulli* şi *Navier*.

Calculul grosimii planşeului rezultă din ecuaţia fundamentală, pentru cazul încovoierii, secţiunile periculoase fiind la punctele de încastrare.

$$M = \sigma_i \cdot W \tag{5.36}$$

unde: M este momentul încovoietor maxim;

W — modulul de inerţie al secţiunii periculoase;

σ_i — rezistenţa de rupere la încovoiere a rocii din planşeu.

Pentru un planşeu cu lungimea egală cu unitatea:

$$M = \frac{1}{12}\gamma_a \cdot a \cdot D^2, \text{ iar } W = \frac{1}{6}a^2 \tag{5.37}$$

în care: γ_a — este greutatea volumetrică a rocii din planşeu;

a — grosimea planşeului;

D — lăţimea planşeului egală cu deschiderea camerei.

Înlocuind valorile lui M şi W în relaţia (5.36) se obţine:

$$\frac{1}{2}\gamma_a \cdot a \cdot D^2 = \frac{1}{6}\sigma_i a^2$$

Din relaţia de mai sus, rezultă:

$$a = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_a}{\sigma_i} D^2 \tag{5.38}$$

Verificarea grosimii planşeului. Verificarea grosimii unui planşeu cu dimensiuni date se face prin aplicarea relaţiilor pentru plăci dreptunghiulare încastrate, încărcate uniform cu sarcina p datorită greutăţii proprii, pentru un raport al lungimii şi lăţimii $\frac{a}{b} = 1{,}5$ respectiv $\frac{a}{b} = \infty$ şi pentru $\mu = 0{,}3$.

Relaţiile de verificare se dau în tabelul XVI.35.

Semnificaţiile notaţiilor din tabel sînt:

σ_x — tensiunea după una din laturile plăcii, daN/cm²;

σ_y — tensiunea după latura a doua a plăcii, daN/cm²

p — greutatea proprie a unui metru pătrat de placă, daN/cm²;

a — lungimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m

b — lăţimea plăcii dreptunghiulare, cm sau m;

μ — coeficientul lui Poisson.

$$N = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\mu^2)} \quad [\text{daN cm}]$$

Tabelul XVI.35

Planşeu încastrat, fără suprasarcină

Raportul laturilor $\frac{a}{b}$	Săgeata f	Tensiunile în mijlocul plăcii		Tensiunea σ'_y în mijlocul laturii lungi
		σ_x	σ_y	
1,5	$0{,}0352\frac{pb^4}{N}$	$-0{,}48\,p\frac{b^2}{h^2}$	$-0{,}87\,p\frac{b^2}{h^2}$	$1{,}81\,p\frac{b^2}{h^2}$
∞	$0{,}0417\,p\frac{b^4}{N}$	$-0{,}30\,p\frac{b^2}{h^2}$	$-1{,}00\,p\frac{b^2}{h^2}$	$2{,}00\,p\frac{b^2}{h^2}$

Rezultatele calculelor tensiunilor cu relaţiile din tabelul XVI.35 se vor compara cu rezultatele de rupere la eforturile respective a rocii din planşeu.

6. FENOMENELE DE MANIFESTARE DINAMICĂ A PRESIUNII MINIERE

În afara formelor de manifestare statică a regimului de presiune minieră (fig. XVI.125), în masivul de roci apar fenomene de distrugere dinamică, bruşte, a unor zone de rocă sau zăcămînt, solicitate de o stare de tensiune caracterizată de valori mari ale componentelor active. Asemenea fenomene, însă de amploare dezastroasă şi raportate la scară mare în scoarţa terestră, cu efecte la suprafaţă şi în subteran sînt cunoscute în ingineria seismică sub denumirea de *cutremure*. La scara intermediară a unei exploatări miniere, a unei lucrări sau a unui abataj acestea pot fi: exploziile de rocă şi substanţă minerală utilă sau şocurile miniere, erupţiile de rocă sau cărbune şi gaze, viiturile de apă, gaze şi nisipuri acvifere.

6.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ ŞI SUBSTANŢĂ MINERALĂ UTILĂ SAU ŞOCURILE MINIERE

Sînt fenomene dinamice produse la zi sau în subteran, caracterizate prin fracturarea violentă a rocilor şi deplasarea unor cantităţi mari de rocă sub formă de fragmente, de plăci sau blocuri desprinse din pereţi, culcuş sau acoperiş (din taluzurile

de la zi) însoțite de un suflu sau undă de aer care străbate lucrările miniere, de zgomote clare audibile și de oscilații seismice ce se propagă în masivul înconjurător. Toate aceste manifestări au drept rezultat distrugerea rețelei de lucrări, a frontului de lucru, a susținerilor existente, a utilajelor etc.

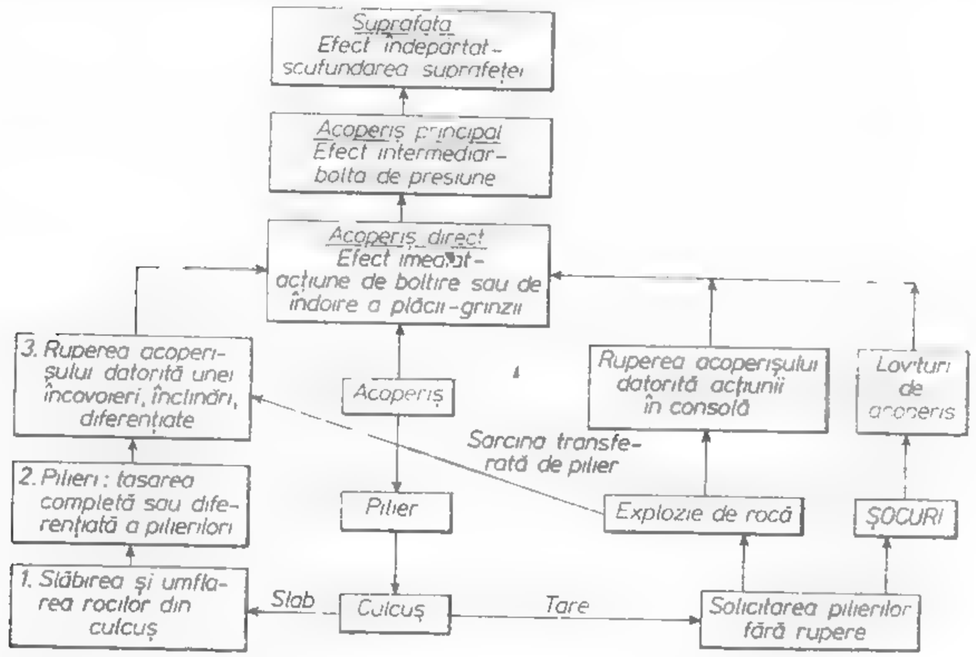


Fig. XVI.125. Comportamentul rocilor din jurul unei excavații miniere.

Cunoașterea cauzelor, a condițiilor și mecanismului de producerea acestor fenomene și elaborarea metodologiilor eficiente de prognoză, combatere-localizare a lor sînt probleme importante a căror actualitate sporește în mod continuu, fiind legată de creșterea adîncimii la care se desfășoară activitatea minieră.

Exploziile de rocă se manifestă sub diferite forme, în condiții diferite, la diferite etape de dezvoltare a excavațiilor miniere. Ele se produc atît în rocile înconjurătoare cît și în cazul zăcămintelor de substanță minerală utilă. Manifestarea unui astfel de fenomen este cunoscută sub o varietate de forme ca: exfolieri, dalări de fragmente de rocă puțin zgomotoase sau fragmentări de rocă de diferite intensități, prin producerea și deplasarea unor cantități de rocă de la cîțiva m³ pînă la sute și chiar mii de metri cubi, atît sub formă de praf și fragmente mărunte cît și sub formă de bucăți mari sau chiar blocuri întregi de rocă.

În literatura de specialitate sînt semnalate frecvent asemenea fenomene, iar observațiile făcute în mineritul din țara noastră ne confirmă prezența acestora într-o serie de bazine ca Baia Mare, Valea Jiului, Cîmpulung-Muscel, la exploatarea zăcămintelor de minereu, sare, cărbune.

Din punct de vedere topologic, asemenea fenomene pot apărea în masa de rocă în zăcămintele de cărbuni, manifestîndu-se în lucrări miniere (orizontale, verticale) singulare, în lucrări miniere multiple în abataje, în pilieri. Astăzi se poate accepta următoarea clasificare a fenomenelor de tipul *exploziilor de rocă* (tabelul XVI.36).

Tabelul XVI.36

Clasificarea „exploziilor de rocă"

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenomenului
Fizic	Explozii prin dalare sau explozii de tipul I	Apar ca rezultat al eliberării bruște a energiei înmagazinate. Ca manifestare sînt asemănătoare cu ruperea sau fragmentarea epruvetelor de rocă casantă supuse la compresiune monoaxială. Se întîlnesc în general în cazul pilierilor de substanță minerală utilă, rocă și în cazul lucrărilor miniere singulare.
	Explozii prin șoc sau explozii de tipul II	Apar ca rezultat al unei solicitări aplicate instantaneu. O asemenea situație devine posibilă în cazul cînd zăcămîntul este cantonat în roci tari și foarte tari, care în urma avansării frontului se surpă la distanțe mari, creînd unde seismice (de presiune) ce solicită instantaneu roca din jurul spațiului exploatat. Se manifestă în general la abataje.
	Explozii prin efracție, respectiv spargere sau explozii de tipul III	O cauză a unor asemenea manifestări este prezența unor intercalații de rocă plastică (argile) în acoperișul sau culcușul de rocă tare sau foarte tare. În asemenea condiții intercalația de rocă rigidă comprimată zvîcnește spărgînd porțiunea de rocă sub formă de explozie de rocă.
Energetic sau cantitatea de energie	Microexplozii sau împușcarea rocilor	Sînt fracturări mărunte ale rocilor de pe suprafața lucrărilor miniere, desprinderea de bucăți de rocă din front, culcuș sau pereții abatajelor. Asemenea fenomene sînt însoțite de efecte sonore [illegible] audibile asemenea unor împușcături. Se pot produce și în profunzimea masivului, asemănător unui seism fără o exteriorizare, prin fracturare dar cu o dislocare a masivului undeva în interiorul lui. Cantitativ clasa acestor fenomene este caracterizată de o energie seismică de pînă la 10 jouli, cu un grad de seismicitate în epicentrul sub 1

Tabelul XVI.36 (continuare)

Criteriul de clasificare	Clasa sau tipul exploziei	Caracterizarea fenemenului
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii slabe	Sînt dislocări locale caracterizate de o cantitate neînsemnată de rocă fracturată și azvîrlită în excavație dar fără distrugeri esențiale ale susținerii și utilajelor miniere. Energia seismică este de $10-10^2$ jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este de 1—2.
	Explozii medii	Sînt fracturări rapide însoțite de cantități considerabile de rocă sau substanță minerală utilă dislocate și care inundă spațiile exploatate, de formarea undelor de presiune ale aerului și de zgomote. Au drept efect distrugerea susținerilor, surparea lucrărilor pe lungimi de cîțiva metri. Energia seismică este de 10^2-10^4 jouli, gradul de seismicitate în epicentru fiind de 2—3,5.
Seismica degajată la explozie și efectele de distrugere produse	Explozii puternice	Au același aspect ca și exploziile medii, dar efectele sînt mult amplificate, extinzîndu-se pe zeci de metri de lucrare. Energia seismică este de 10^4-10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru de 3,5 - 5.
	Explozii catastrofale	În cazul acestor manifestări apar efecte de distrugere completă a unor orizonturi întregi ale minei. Suprafața afectată atinge cîteodată mai multe sute de mii de metri pătrați. Energia seismică este mai mare de 10^7 jouli, iar gradul de seismicitate în epicentru este > 5.

Aceste fenomene sînt rezultatul acțiunii următorilor factori: natura litologică; proprietățile fizice, mecanice, elastice și reologice ale zăcămîntului și rocilor înconjurătoare; starea de tensiune creată; caracteristicile geometrice ale zăcămîntului; adîncimea de exploatare, metoda de exploatare etc.

Referitor la natura și proprietățile rocilor se poate preciza că cele mai favorabile sînt rocile de tip casant caracterizate ca roci tari, rezistente, cu un domeniu și caracter pronunțat elastic cum ar fi: bazaltele, cuarțitele, granitele, gresiile, conglomeratele, șisturile grezoase, cărbunoase etc. Dacă s-ar putea induce în rocă o fracturare suplimentară lîngă front sau dacă adîncimea zonei de fracturare s-ar putea extinde, atunci probabilitatea de apariție a exploziilor ar fi diminuată (fig. XVI.126).

Starea de tensiune are o mare influență asupra producerii fenomenelor dinamice fiind factorul preponderent în cazul adîncimilor mici. Odată cu creșterea adîncimii și dacă starea naturală de tensiune este numai de origine gravitațională, pericolul apariției exploziilor de rocă se micșorează. O asemenea micșorare este efectul minimizării atît a tensiunilor de forfecare cît și a concentrărilor de tensiune datorită egalizării componentelor și a apariției secundare de tensiune și manifestării unei stări apropiate de cea hidrostatică.

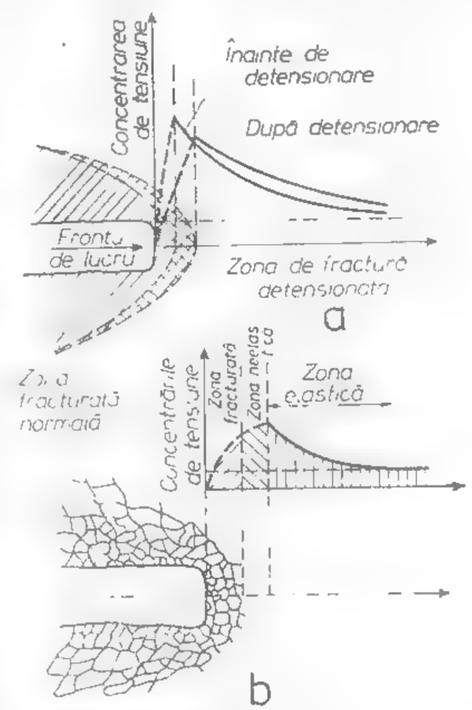


Fig. XVI.126. Starea de tensiune în fața frontului:
a — concentrarea de tensiune în fața frontului detensionat și *b* — lîngă frontul de lucru.

În cazul în care în masiv există o stare naturală complexă de tensiune (situație frecvent întîlnită în realitate), atunci, chiar la adîncimi mari și în special în cazul zăcămintelor tectonizate, producerea exploziilor este mult favorizată.

Exploziile de rocă se întîlnesc frecvent în zonele anticlinale și sinclinale cu înclinări mari ale flancurilor. Sînt însă semnalate la zăcăminte neafectate de fenomene disjunctive și plicative dar la înclinări sub 20°.

În minele de cărbuni, unde se utilizează metode de exploatare cu stîlpi (lungi sau scurți) sau cu front lung continuu sau trepte răsturnate, există posibilitatea apariției fenomenelor dinamice datorită implicațiilor ce le pot crea aceste metode: lăsarea de stîlpi de cărbune neextrași, decalaj între fronturile de lucru etc. Asemenea fenomene, în contextul acestor metode, s-au produs la extragerea stîlpilor de lîngă galeriile direcționale, dintre abatajele cu front lung, la lăsarea de pilieri în spațiul exploatat.

Exploziile de rocă sînt rezultatul fracturării rocii. Roca este supusă acțiunii unei stări de tensiune excesive (mai mare decît rezistența ei) și ca urmare se fracturează brusc, caz în care printr-o asemenea manifestare ea se eliberează în mod instantaneu de energia înmagazinată în timpul solicitării. Înmagazinarea energiei de către rocă este un fenomen similar comprimării unui arc. Același mecanism este întîlnit și în cazul rocilor. Cantitatea de energie eliberată la producerea exploziei de rocă este deci acumulată sub o stare de tensiune de compresiune și nu de tracțiune, deoarece raportul dintre principalele rezistențe ale rocilor este: $\sigma_t < \tau < \sigma_c$. Observațiile și rezultatele experimentărilor conduc la afirmația că în jurul excavațiilor este favorizată fracturarea și ruperea rocilor mai mult prin forfecare decît prin tracțiune. Deci o explozie de rocă se produce atunci cînd roca casantă este supusă la tensiuni de compresiune suficient de mari, cauzînd brusc ruperea de-a lungul planelor de forfecare (fig. XVI.127).

Intensitatea de fracturare în timpul exploziilor de rocă depinde sau poate fi caracterizată de parametrii din fig. XVI.128. Roca casantă și elastică înmagazinează pe unitatea de volum o cantitate de energie $\mathcal{E}$ dată de relația:

$$\mathcal{E} \quad \frac{\sigma_1^2}{2E} \quad \text{mN/m}^3] \qquad (6.1)$$

în care σ_1 este tensiunea principală maximă, N/m².

Prin urmare, capacitatea de înmagazinare a energiei de către o rocă sau substanță minerală utilă este invers proporțională cu valoarea modulului de elasticitate E. Valoarea modulului de elasticitate a cărbunilor este extrem de mică comparativ cu al rocilor și deci, așa cum o confirmă și observațiile, fenomenele de explozie sînt mai des întîlnite în stratele de cărbune decît în rocile înconjurătoare acestora.

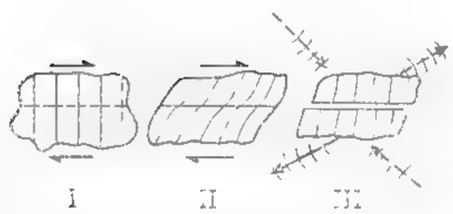


Fig. XVI.127. Fazele de producere a exploziilor de rocă.

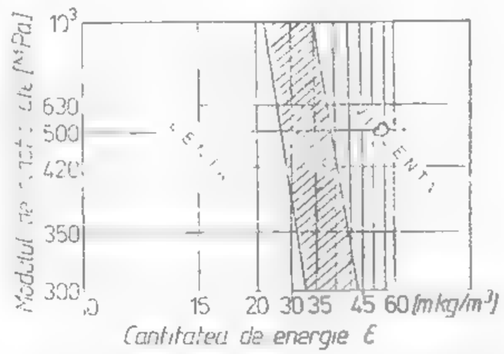


Fig. XVI.128. Clasificarea exploziilor de rocă funcție de rigiditatea și energia înmagazinată la fracturare.

Cantitatea de energie potențială $\mathcal{E}$ care se eliberează în timpul exploziilor de rocă ca energie cinetică este constituită din două componente: energia potențială $\mathcal{E}_{p1}$ de deformare elastică acumulată de roca din masiv în limitele fenomenului dinamic; energia potențială $\mathcal{E}_{p2}$ acumulată pe baza compresiunii elastice creată de efortul tangențial. Deci

$$\mathcal{E}_p = \mathcal{E}_{p1} + \mathcal{E}_{p2} \tag{6.2}$$

unde:

$$\mathcal{E}_{p1} = \frac{\sigma_c^2}{2E} V_r; \quad \mathcal{E}_{p2} = \frac{\sigma_c \cdot A \cdot \varepsilon_0 \cdot a}{5}. \tag{6.3}$$

În aceste relații: σ_c este valoarea medie a celei mai mari tensiuni normale;

V_r — volumul de rocă fragmentat la explozia de rocă;

A — suprafața elementului dislocat; ε_0 — valoarea maximă a relaxării sau deplasării radiale: $\varepsilon_0 = \sigma / E$ (0,625—0,34%);

a — lățimea zonei de relaxare la producerea exploziei.

Deci:

$$\mathcal{E} \quad \frac{\sigma_c^2 \cdot A}{2} \left(\frac{m}{E} + \frac{2a}{5E_r} \right). \tag{6.4}$$

unde m este grosimea zăcămîntului; E_r — modulul rocilor; E modulul suanstbei minerale utile.

6.1.1. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE SINGULARE

În roca înconjurătoare lucrărilor miniere se produc concentrări ale stării de tensiune naturale preexistente ce creează tensiuni tangențiale de compresiune. Aceste tensiuni constituie cauza apariției în rocă, la extremitățile fisurilor naturale sau a celor apărute în urma excavării, a unor eforturi de tracțiune paralele cu direcția de solicitare a tensiunilor tangențiale la compresiune (conform ipotezei lui *Grifith*). Datorită acestor solicitări, la un moment dat se produce fracturarea și elementele de rocă sînt refulate avînd drept consecință azvîrlirea lor din peretele lucrării, mai mult sau mai puțin violent, funcție de capacitatea de înmagazinare a energiei de către rocă — fenomen denumit *exfoliere, dalare* sau *izbucnire de rocă*. Acestea sînt *exploziile de factură minoră*, iar dacă fenomenul se extinde și în adîncime atunci sînt *explozii de factură medie* care se manifestă de fapt în lucrările miniere singulare (fig. XVI.129).

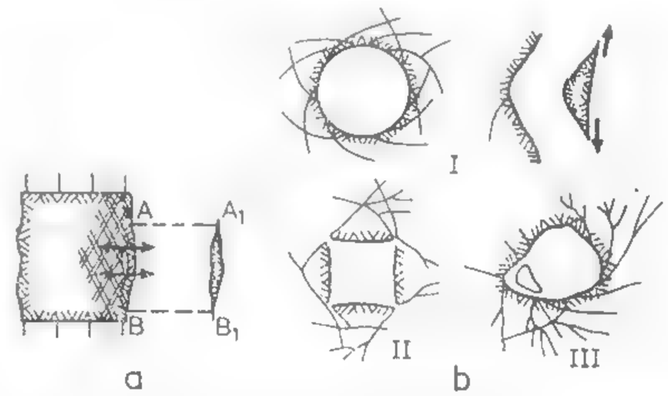


Fig. XVI.129. Tipuri de explozii de rocă:

a — explozie minoră: ruperea rocii prin fracturare sau forfecare; *b* — explozie moderată: tipuri de fracturare (*I, II, III*) în cazul unei stări de tensiune izotropă.

În cazul în care tensiunea tangențială de compresiune este orizontală, atunci fracturarea se produce la tavanul sau la vatra lucrării, iar dacă este verticală fracturarea se produce în pereții acesteia.

6.1.2. EXPLOZIILE DE ROCĂ PRODUSE ÎN LUCRĂRI MINIERE MULTIPLE ȘI ÎN ABATAJE

În acest caz fenomenul de explozie este mult mai intensiv, în sensul că efectele sînt mai dezastroase, cu toate că mecanismul de producere este identic. În funcție de localizarea focarului de explozie (fractura principală produsă de explozie) și de efectele produse, aceste fenomene de factură majoră se pot încadra în două subgrupe:

— lovituri de acoperiș sau culcuș care se produc prin ruperea bolții create de rocă în tendința ei de echilibrare în jurul excavației;

— explozii produse în zăcămînt.

Loviturile de acoperiş sau culcuş apar ca urmare a distrugerii stării de echilibru din jurul excavaţiilor (lucrări multiple, abataje). Ruperea se produce ca urmare a acţiunii tensiunilor de forfecare ce se manifestă (fig. XVI.130).

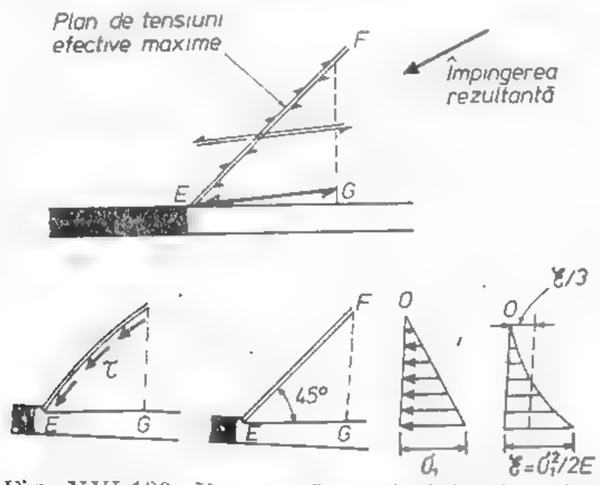


Fig. XVI.130. Ruperea acoperişului sub acţiunea tensiunilor de forfecare în cazul zăcămintelor de cărbune.

Direcţia lui τ variază cu direcţia şi tipul de solicitare, de la orizontală (în cazul unei stări de tensiune complexe) pînă la verticală (în cazul stării gravitaţionale). Considerînd situaţia complexă de solicitare, fracturarea se va produce după o direcţie $E-F$ (fig. XVI.130), progresînd în spre interiorul rocii în mod ascendent din O, degajîndu-se în cîteva milisecunde un volum mare de rocă ce este azvîrlit în spaţiul exploatat. Analizînd blocul de forma EFG în momentul fragmentării şi expandării, se poate stabili valoarea energiei elastice înmagazinate de această porţiune (EFG) înainte de rupere, deci :

$$\mathcal{S} = k\,\sigma_1^2 \qquad (6.5)$$

unde k este 0,5 E în conformitate cu relaţia (6.1) ; σ_1 — tensiunea normală principală maximă ; E — modulul de elasticitate al rocii. Ca urmare, linia care delimitează energia înmagazinată este o parabolă, iar suprafaţa închisă de acesta reprezintă energia totală înmagazinată de blocul considerat.

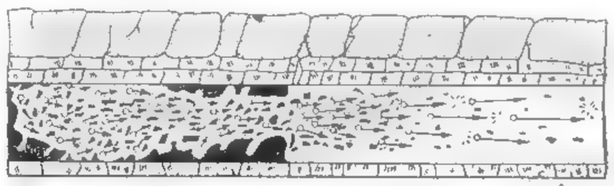


Fig. XVI.131. Explozii de cărbune.

Exploziile produse în zăcămînt. În cazul zăcămintelor de cărbuni, exploziile care se produc la exploatarea acestora dezvoltă o fragmentare violentă numai a cărbunelui, fără nici o afectare iniţială a rocilor înconjurătoare. În mod obişnuit majoritatea exploziilor de cărbune se produc în zăcăminte tabulare, în acoperişul cărora se situează strate groase de rocă tare de tipul gresiilor, conglomeratelor, marno-calcarelor etc. (tabelul XVI.37). Mecanismul de producere a unor asemenea fenomene rezultă din fig. XVI.131.

Tabelul XVI.37

Rezistenţa rocilor din acoperişul şi culcuşul stratelor de cărbune

Denumirea	Rezistenţa de rupere la compresiunea, σ_i [MPa]	Modulul de elasticitate, E [MPa]
Rocile din acoperiş sau culcuş	20—135	$210 \cdot 10^2$ — $450 \cdot 10^2$
Cărbunele	6—35	$21 \cdot 10^2$ — $45 \cdot 10^2$

Toate observaţiile arată că pentru evidenţierea cărbunilor susceptibili la degajări bruşte şi instantanee faţă de cei care nu au o astfel de proprietate, trebuie măsurată viteza de absorbţie sau desorbţie a acestora.

În cazul zăcămintelor de minereu, substanţa minerală utilă este în mod frecvent mai tare decît rocile înconjurătoare şi deci exploziile în asemenea zăcăminte se produc numai la adîncimi mari şi prin fracturarea acoperişului sau a culcuşului lîngă frontul de lucru şi a zăcămîntului însuşi.

6.2. ERUPŢIILE DE CĂRBUNE ŞI GAZ SAU ROCĂ-APĂ ŞI GAZ (VIITURI)

Sînt tot o formă de manifestare dinamică a regimului de presiune minieră, adică a stărilor secundare de tensiune. Acestea sînt caracterizate ca fenomene bifazodinamice (gazodinamice) sau trifazodinamice (gazolichidodinamice). În esenţă constau în detaşarea bruscă din abataj şi sfărîmarea rocii sau a cărbunelui cu degajarea simultană a unor cantităţi considerabile de gaz sau apă şi gaz. Deci erupţiile pot fi definite ca fenomene de dislocare rapidă a unor porţiuni oarecare din masiv însoţite de sfărîmarea intensivă, mărunţirea rocii şi aruncarea ei în excavaţia minieră, cu degajarea simultană a unor cantităţi considerabile de gaz.

Un fenomen asemănător, cu toate că în genere se produce din vatra abatajelor, este acela de erupţie a borchişurilor însoţite de gaze, adică viiturile (caracteristic zăcămintelor de lignit).

Aceste fenomene se pot caracteriza prin forţa sau scara la care se produc. În afară de aceasta, se poate stabili coeficientul emanaţiei de gaz sau gaz şi apă k_g respectiv k_{gw}, prin raportul

$$k_g = \frac{Q_g}{Q_m} \quad \text{sau} \quad k_{gw} = \frac{Q_{gw}}{Q_m} \qquad (6.6)$$

unde : Q_m este cantitatea de rocă adusă de erupție ; Q_g și Q_{gw} cantitatea de gaz respectiv gaz-apă degajată de erupție.

Intensitatea erupției, I_e, este :

$$I_e = \frac{Q_m}{t} \; ; \; I_e = \frac{Q_g}{t} \; ; \; I_e = \frac{Q_{gw}}{t} \tag{6.7}$$

unde t este durata fenomenului de erupție.
În cazul sistemului complex rocă-apă-gaz se poate scrie :

$$\tau' = c + (\sigma_N - \sigma) \operatorname{tg} \varphi = c' + \sigma_N \operatorname{tg} \varphi \tag{6.8}$$

unde τ' este tensiunea efectivă de forfecare ; c' — modificarea coeziunii în funcție de tensiunea din pori a fazei gazoase și lichide ;

σ_N — tensiunea normală totală ;

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1 - \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1 + i_0}{i_0}} \tag{6.9}$$

σ_0 este starea de tensiune a fazei gazoase sau lichide ; $\frac{\Delta V}{V}$ — creșterea de volum ; i_0 — indicele golurilor.

Prin urmare, cu cît variația volumului specific este mai mare cu atît se micșorează rezistența rocii. Prezența în rocă a unei faze sau chiar a două faze explică fenomenul de slăbire a rocii și îl diversifică după cum variază raportul $\frac{\Delta V}{V}$. Astfel, dacă $\frac{\Delta V}{V} > 0$, apare fisurarea rocii și favorizează apariția erupției, dacă $\frac{\Delta V}{V} < 0$ fisurarea se produce lent și nu apar fenomene dinamice.

Pericolul de erupție sau viitură poate fi prognozat pe baza parametrilor dependenți de distanța frontului de lucru. Locul cel mai nefavorabil unde comportamentul rocii trece de la cel elastic la plastic este distanța X_0 :

$$X_0 = \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{0{,}5 < m \cdot a + j - \frac{1}{m-1}}{(m-1)\left[\frac{\sigma}{\sigma_z - \sigma_0} + \frac{j}{m-1} - 1\right]} \right\} \tag{6.10}$$

unde : a este semideschiderea abatajului ; m — constanta lui *Poisson* ;

$$j = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \tag{6.11}$$

Condiția generală de apariție a erupțiilor sau a viiturilor este dată de expresia :

$$\sigma_c = p_0 \frac{n-1}{1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_c}} \left\{ 1 + 1{,}3 \frac{1 + i_0}{i_0} \cdot \frac{m-2}{m-1} \cdot \frac{(m-1)(m \cdot n \cdot a - 1) - 2}{(m-1)(0{,}5\, m \cdot n \cdot a + j) - 1} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left[[\sigma_p + (H\gamma_a - p_0)\left(\frac{j}{n-1} - 1\right)] \right] \right\} \tag{6.12}$$

în care : p_0 este presiunea inițială a gazelor sau a apei din pori ; n — coeficientul de siguranță al susținerii ; σ_p — limita plastică sau de curgere a rocii.

Prin urmare pericolul erupției sau a viiturilor poate fi stabilit prin analiza parametrilor naturali : H ; γ_a ; i_0 ; φ ; E ; sau m ; i_0 ; și p ; σ_c ; σ_p și a celor tehnici n și a.

Lucrările de prevenire și combatere trebuie să aibă la bază dirijarea stării de tensiune, adică o determinare a zonelor înconjurătoare suprafețelor libere, pentru modificarea caracteristicilor de deformare a rocilor și acolo unde este necesar o degazare respectiv o asecare prealabilă.

7. INFLUENȚA EXPLOATĂRILOR SUBTERANE ASUPRA TERENULUI DE LA SUPRAFAȚĂ

7.1. DEFORMAREA SUPRAFEȚEI TERENULUI SUB INFLUENȚA EXPLOATĂRII SUBTERANE

7.1.1. CARACTERUL DEPLASĂRII ȘI DEFORMĂRII MASIVULUI DE ROCI ȘI A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Prin extragerea pe o anumită suprafață din zăcămînt a substanței minerale utile excavațiile subterane rezultate, atît în cazul cînd sînt rambleiate, dar mai ales atunci cînd se aplică dirijarea presiunii prin surpare totală, pun în mișcare masivul de roci acoperitoare care caută să umple spațiul creat de exploatare. În funcție de natura și caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor, de adîncimea la care se află zăcămîntul ce se extrage, în masivul de roci acoperitoare, în mișcarea sa spre spațiul exploatat, în timp, iau naștere trei zone (fig. XVI.132) :

zona surpărilor neregulate (1) ;

zona surpărilor regulate (2) ,

zona îndoirii stratelor sterile după stratificație (

Se consideră că în cazul în care adîncimea stratului ce se exploatează este mai mică de 100—150 m, și aceasta în dependență cu caracteristicile de deformare și mecanice ale rocilor, zona a treia, a îndoirii stratelor după stratificație, poate să lipsească.

În acest mod, mișcarea întregului masiv de roci spre spațiul exploatat se transmite suprafeței terenului de la zi. Propagarea mișcării masivului de roci spre suprafața terenului

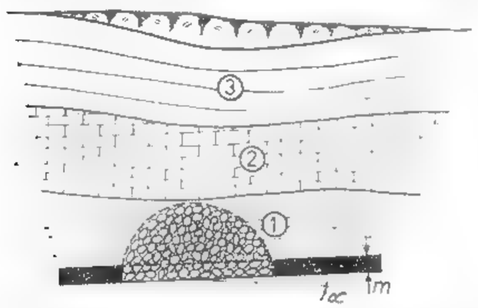


Fig. XVI.132. Modul de deplasare și deformare a masivului de roci sub influența exploatării subterane.

atinge o zonă din ce în ce mai mare, astfel încît atunci cînd ajunge la zi, forma luată de ansamblul deplasării și deformării poate fi asemănător cu o pîlnie aproximativ piramidală (fig. XVI.133). Mărimea suprafeței de la zi afectată de mișcarea întregului masiv de roci, față de mărimea spațiului exploatat, este delimitată prin plane care cu planul orizontal fac anumite unghiuri (fig. XVI.133), denumite *de scufundare* (β_s, γ_s transversal pe zăcă

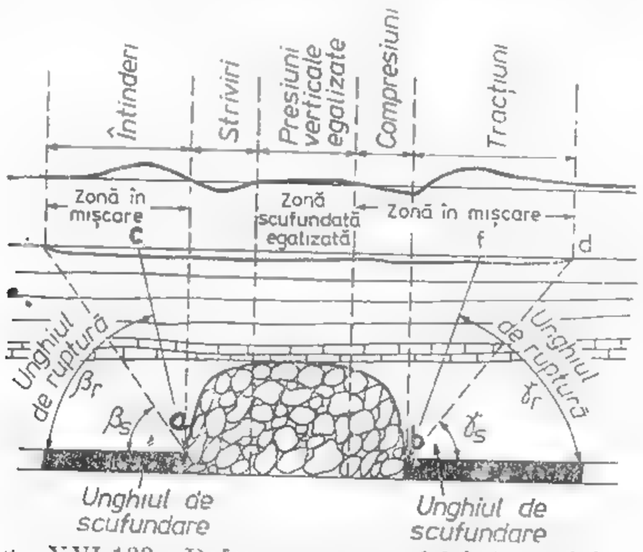


Fig. XVI.133. Deformarea suprafeței terenului și extindere în plan a zonei de scufundare.

mînt și δ_s după direcția zăcămîntului). În interiorul pîlniei de scufundare, la suprafața terenului, apar linii de fractură (*ac*, *bf*) înclinate sub diferite unghiuri, denumite *de rupere* (β_r, γ_r, δ_r).

În funcție de adîncimea de exploatare, de natura și caracteristicile mecanice ale rocilor, în locurile unde liniile de fractură definite prin unghiurile de rupere străpung

suprafața de la zi, apar crăpături. Din observațiile făcute asupra scufundărilor, rezultă că atît masivul de roci cît și suprafața suferă deplasări și deformări, luînd naștere eforturi de compresiune și de tracțiune (fig. XVI.133).

7.1.2. FACTORII CARE INFLUENȚEAZĂ PROCESUL DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Dintre factorii mai importanți care influențează procesul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, se menționează:

- caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
- tectonica zăcămîntului și masivului de roci;
- condițiile hidrogeologice;
- grosimea și înclinarea stratelor ce se exploatează;
- metoda de exploatare;
- metoda de dirijare a presiunii rocilor înconjurătoare;
- dimensiunile spațiului exploatat;
- adîncimea de exploatare etc.

Caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor situate deasupra stratului în exploatare reprezintă un factor important al procesului de deplasare și dislocare a rocilor. Rocile cu caracteristici elastice, în special cele casante, se rup în momentul în care eforturile la care sînt supuse — greutatea proprie sau suprasarcinile statice și dinamice datorite rocilor de deasupra — depășesc rezistența lor mecanică și se surpă în spațiul exploatat. În funcție de adîncimea de exploatare, în acest caz, pot apărea la suprafață deplasări discontinui insoțite de crăpături. Dacă, însă, rocile au caracteristici plastice predominante, stratele de deasupra excavațiilor create în zăcămînt prin exploatare se coboară lin, îndoindu-se după stratificație și produc la suprafața de la zi deplasări continue fără apariția de crăpături.

Existența stratelor acvifere în acoperișul stratului în exploatare, fie că se asecă sau nu, amplifică mărimea deplasărilor și deformărilor ce apar la suprafața terenului.

Grosimea și înclinarea zăcămîntului sînt, de asemenea, factori importanți în procesul de deplasare-deformare a rocilor acoperitoare. Cu cît zăcămîntul este mai gros, oricare ar fi înclinarea lui, cu atît deplasarea și deformarea rocilor înconjurătoare va fi mai accentuată, iar terenul de la suprafață va suferi mai mult de pe urma fenomenului de tasare-scufundare. La înclinări mari și foarte mari, oricare ar fi adîncimea de exploatare, mai ales atunci cînd rocile înconjurătoare au rezistență și stabilitate mică, dislocările și surpările se fac simțite la suprafață.

Metoda de exploatare și în special metodele de dirijare a acoperișului — a căror aplicare este strîns legată de caracteristicile fizice și mecanice ale rocilor din acoperișul direct și principal al zăcămîntului exploatat — contribuie și ele la amplificarea procesului de deplasare și deformare a masivului de roci și implicit a suprafeței terenului. În cazul zăcămintelor de cărbune, extragerea prin abataje cameră, indiferent de adîncime, produce la suprafață deplasări și deformări discontinue, cu apariția de crăpături, pe cînd extragerea cu abataje frontale poate da naștere la scufundări continui, fără apariția de crăpături. Dirijarea presiunii prin surpare totală conduce la valori mai mari ale scufundării suprafeței terenurilor de la zi în raport cu dirijarea prin rambleiere totală sau parțială.

Mărimea spațiului exploatat influențează direct forma deplasărilor pe verticală a suprafeței terenurilor precum și mărimea deformațiilor ce apar. Adîncimea de exploatare este unul din parametrii esențiali care caracterizează caracterul deplasării și deformării

suprafeței terenurilor. La adîncimi mici deplasările și deformările sînt discontinui. Odată cu creșterea adîncimii de exploatare, deplasările sînt continui, mărimea acestora scade. De la o anumită adîncime, în concordanță cu alți factori, mărimea deplasărilor și deformărilor suprafeței devine practic nulă.

7.1.3. PARAMETRII ȘI ELEMENTELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMARE A SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Strate orizontale și cu înclinare mică. Ca rezultat al exploatării pe o anumită suprafață a unui strat orizontal cu înclinare mică, la o adîncime suficient de mare, mișcarea masivului de roci acoperitoare spre spațiul exploatat la un timp afectează suprafața terenului de la zi, producînd deplasarea și deformarea acestuia. Caracterul de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane este caracterizat prin parametrii săi specifici și anume:

unghiurile de scufundare (β_s, γ_s, δ_s) și de rupere (β_r, γ_r, δ_r);
deplasarea verticală, sau scufundarea, W (mm);
deplasarea orizontală, U (mm);
deformația specifică orizontală, ε (mm/m);
înclinarea T (mm/m);
- curbura, K, (m^{-1}, km^{-1}).

Considerînd deasupra spațiului exploatat la suprafața de la zi două alinamente topografice, unul perpendicular și altul paralel cu frontul de alataj, cu puncte situate la anumite distanțe constante între ele și determinînd pentru fiecare punct în parte parametrii amintiți, se vor obține curbele care definesc deformarea și deplasarea suprafeței de la zi (fig. XVI.134). Pentru zăcămintele stratiforme, orizontale și cu înclinare mică, curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sînt simetrice față de o dreaptă verticală ridicată deasupra jumătății spațiului exploatat (fig. XVI.134).

Unghiurile de scufundare se stabilesc prin măsurători topografice pentru fiecare bazin minier și depind de condițiile geologo-miniere ale zăcămîntului, înclinarea și adîncimea stratelor. În tabelul XVI.38 sînt prezentate valorile unghiurilor de scufundare din principalele bazine carbonifere din țară și din unele bazine miniere din alte țări.

Parametrii de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor se obțin prin
măsurători topografice;
calcule matematice de prognoză.

Strate cu înclinare medie și mare. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor de la zi este redată în fig. XVI.135. Din figură se observă că curba deplasărilor verticale este asimetrică în raport cu jumătatea spațiului exploatat. Maximul scufundării verticale este deplasat în partea din amonte a spațiului exploatat. Unind punctul de scufundare maximă de pe albia de scufundare cu mijlocul spațiului exploatat, aceasta face cu orizontala unghiul θ, a cărui valoare depinde în principal de următorii factori:

— caracteristicile fizico-mecanice ale rocilor acoperitoare;
unghiul de înclinare a stratului;
- adîncimea de exploatare;
- metoda de exploatare și dirijare a presiunii
— dimensiunile spațiului exploatat etc.

Valoarea unghiului θ se stabilește în urma determinării prin măsurători topografice a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor, în funcție de condițiile geologice și de exploatare din fiecare bazin minier.

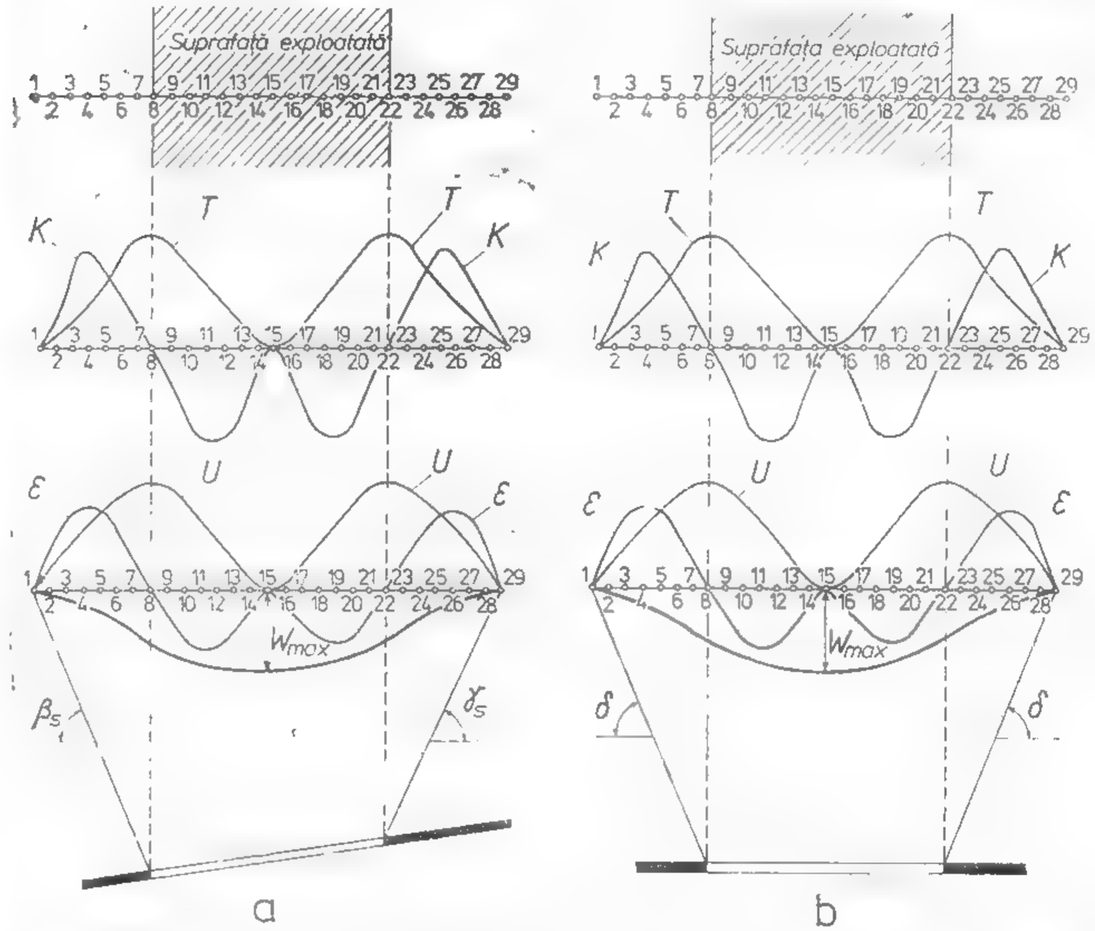


Fig. XVI.134. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor pentru strate orizontale și de înclinare mică:

a — secțiune transversală pe zăcămînt; b — secțiune longitudinală prin zăcămînt; W — curba deplasărilor verticale (albia de scufundare); U — curba deplasărilor orizontale; ε — curba deformațiilor specifice orizontale; T — curba înclinării albiei de scufundare; K — curba curburii albiei de scufundare.

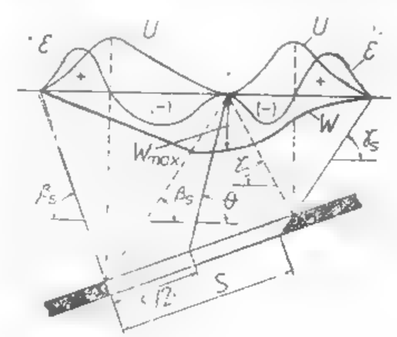


Fig. XVI.135. Aliura curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenului pentru strate de înclinare medie și mare:

W — albia de scufundare; U — curba deplasărilor orizontale; ε — curba deformațiilor specifice orizontale.

Tabelul XVI.38

Valorile unghiurilor de scufundare în diferite bazine miniere din țară și din străinătate

Țara	Bazinul minier	Unghiul de scufundare			Înclinarea zăcămîntului [grade]	Categoria de protecție	Felul zăcămîntului
		β_s	γ_s	δ_s			
România	Motru	63 69	60 64	60 64	0—5 0—5	I II	Lignit
	Cîmpulung-Muscel	60 63	25 57	54 54	14 14	I II	Lignit
	Filipeștii de Pădure	63	57	60	12	I—IV	Lignit
	Valea Jiului*)	72	68	64′	Variabilă	I—IV	Huilă
	Deva	87	78	72	Vertical	I—IV	Mineren de cuprifer
	Bălan	83	73	70	>75	I—IV	Idem
Polonia	Silezia superioară	72	72	72	0—12	I—IV	Huilă
Cehoslovacia	Moravia	76	72	62	< 18	I—IV	Huilă
U.R.S.S.	Donet	85 90—α 90—α	85 90 85	85 85 85	0—5 6—44 90—α	I—IV	Huilă
	Kuznet	74 79 83 63 52 52	80 83 85 71 73 75	80 83 85 83 83 83	10 10 10 45 45 45	I II III I II III	Huilă
	Moscovei	65	55	50	0—8	I—IV	Cărbune brun
R.F.G.	Ruhr	78	69	64	0—18	I—IV	Huilă

*) Prin studiile întocmite în ultimii ani, în bazinul Văii Jiului au fost stabilite unghiuri de scufundare variabile cu înclinarea și adîncimea. Valorile acestor unghiuri nefiind confirmate de practică și legiferate, în tabel au fost date valorile unghiurilor după care s-au trasat pilierii de siguranță.
α — unghiul de înclinare al zăcămîntului.

7.1.4. STADIILE DE DEZVOLTARE A ALBIILOR DE SCUFUNDARE

Pentru a cunoaște stadiile de dezvoltare a albiei de scufundare pe măsura exploatării, se pornește de la raportul dintre mărimea suprafeței abatajului și înălțimea pe care ar avea-o un presupus pilier de siguranță H, a cărui bază ar fi chiar suprafața cîmpului exploatat.

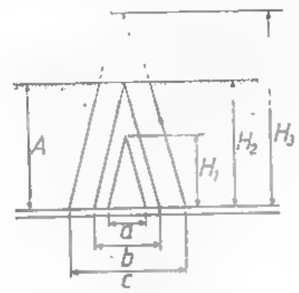


Fig. XVI.136. Stadii de dezvoltare a albiei descufundare determinate de raportul $\frac{H}{A}$.

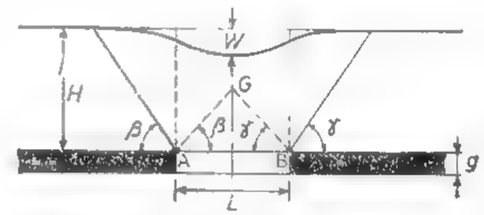


Fig. XVI.137. Albie de scufundare subcritică.

În acest scop, dacă din marginile frontului de abataj se construiesc invers unghiurile de scufundare (β_s, γ_s, δ_s) se obține o piramidă a cărei înălțime este H (fig. XVI.136).

Notînd cu A adîncimea medie a exploatării și făcînd raportul între H și A, se deosebesc trei stadii de dezvoltare a albiei de scufundare și anume:

— *albie subcritică*, cînd mărimea spațiului exploatat $L < 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} < 1$, adică vîrful presupusului pilier de siguranță nu va atinge suprafața de la zi. Albia de scufundare are forma unei căldări și nici un punct de la suprafață nu va atinge scufundarea verticală maximă (fig. XVI.137);

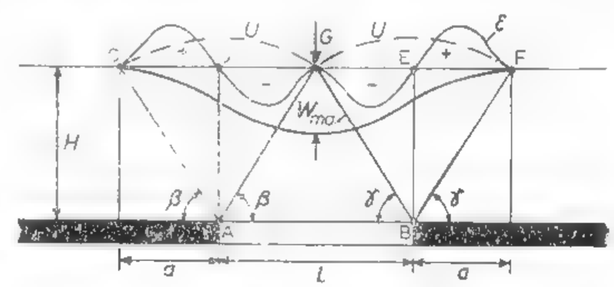


Fig. XVI.138. Albie de scufundare critică.

albie critică, cînd mărimea spațiului exploatat $L = 2H \operatorname{ctg} \gamma_s$, sau $\frac{H}{A} = 1$, adică vîrful presupusului pilier de siguranță atinge suprafața de la zi. În acest caz un singur punct de la suprafață atinge scufundarea verticală maximă, în dreptul centrului suprafeței exploatate (fig. XVI.138)

albie supracritică, cînd mărimea spațiului exploatat $l = 2H\operatorname{ctg}\gamma_s$ sau $\frac{H}{A} = 1$, adică vîrful presupusului pilier de siguranță depășește nivelul suprafeței de la zi. Albia de scufundare, pe o mare întindere a zonei centrale, este largă, orizontală, mai multe puncte de la suprafață ating scufundarea verticală maximă. În această zonă nu apar

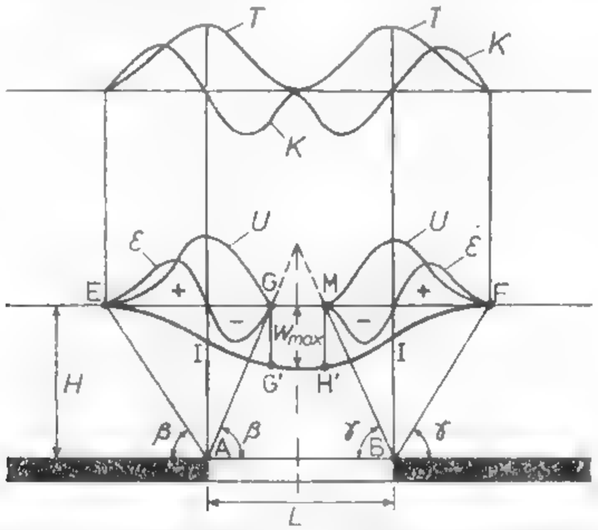


Fig. XVI.139. Albie de scufundare supracritică.

deplasări și deformări orizontale (fig. XVI.139). În punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, aflat pe verticala ridicată deasupra marginii frontului de abataj, scufundarea verticală este

$$W_I = \frac{1}{2} W_{max}.$$

În zona HE — scufundarea verticală a unui punct este cuprinsă în limitele:

$$\frac{1}{2} W_{max} < W < W_{max},$$

iar în zona EF, scufundarea verticală a unui punct este

$$0 < W < \frac{1}{2} W_{max}.$$

7.2. METODE DE STUDIU A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFEȚEI TERENURILOR

Protecția obiectivelor industriale, sociale și naturale de la suprafața perimetrelor miniere se face prin trasarea și dimensionarea pilierilor de siguranță (protecție). În multe din cazuri se pune problema valorificării rezervelor de substanță minerală utilă imobilizate în acești pilieri de siguranță, deci punerea în exploatare și introducerea lor în circuitul economic. În această situație se întreprind studii pentru cunoașterea deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor sub influența exploatării unui zăcămînt situat în anumite condiții geologo-miniere și de exploatare. În studierea unei astfel de probleme sînt folosite metode topografice și metode matematico analitice de calcul de prognoză.

Metodele topografice[1] constau în amplasarea, la suprafața terenurilor, de stații de măsurare topografică a parametrilor de deplasare și deformare. Aceste stații topografice sînt formate din aliniamente de măsurare, amplasate după direcția și înclinarea stratului, adică perpendicular și paralel cu direcția de avansare a frontului de abataj. Pe fiecare aliniament sînt materializate puncte sub forma unor repere situate la anumite distanțe. În aceste aliniamente se fac măsurători de nivelment și distanțe orizontale dintre repere. Prin măsurători de nivelment se determină scufundările verticale ale suprafeței terenului și se ridică *curba scufundărilor verticale* sau *albia de scufundare*. Din calcule se determină curba înclinării și curba curburii albiei de scufundare.

Executînd măsurători de distanțe orizontale dintre repere, se determină *deplasările orizontale* și se ridică curba acestora. Din calcule se determină valoarea deformațiilor specifice orizontale. Totodată, în urma tuturor măsurătorilor efectuate se determină *umplurile de scufundare și de rupere*. Metodologiile de efectuare a măsurătorilor, a calculelor de determinare a unor parametri, precum și modul de prelucrare a datelor, constituie obiectul unui capitol din cadrul topografiei miniere (v. Secțiunea XV).

Metodele matematico-analitice de calcul constau în adoptarea unor relații de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor. În această situație, se aplică una din metodele de calcul ce a fost elaborată pentru condiții geologo-miniere asemănătoare cu zăcămîntul ce trebuie exploatat și care, verificată în practică, a condus la rezultate satisfăcătoare. Literatura de specialitate pune la dispoziție în prezent o mulțime de metodologii de calcul de prognoză a parametrilor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane, a căror rezultate au fost confirmate de practica minieră.

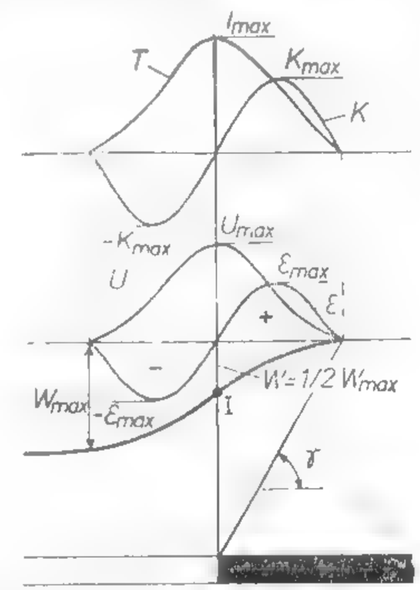


Fig. XVI.140. Dependența matematică între curbele de deplasare și deformare.

7.2.1. DEPENDENȚA MATEMATICĂ ÎNTRE CURBELE DE DEPLASARE ȘI DEFORMĂRI

Considerînd cazul unei albii de scufundare critică sau supracritică, se observă că între curbele de deplasare și deformare există o dependență matematică. Față de sistemul de axe de coordonate adoptat, rezultă următoarele (fig. XVI.140):

— în punctul de inflexiune al curbei deplasărilor verticale, curba înclinării prezintă un maxim și are valoarea zero în punctul unde apare scufundarea verticală maximă

— pentru valoarea maximă a curbei înclinării, curba curburii albiei de scufundare are valoarea zero

De asemenea, pentru valoarea zero a deformațiilor specifice orizontale, curba deplasărilor orizontale prezintă un maxim.

Această dependență între curbele de deplasare și deformare poate fi exprimată matematic sub forma:

dacă $W(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor verticale, atunci ecuația curbei înclinărilor va fi $T(x) = \frac{dW}{dx}$, iar ecuația curbei curburii albiei de scufundare, $K(x) = \frac{d^2 W}{dx^2}$;

dacă $U(x)$ exprimă funcția curbei deplasărilor orizontale, atunci ecuația curbei deformațiilor orizontale va fi $\varepsilon(x) = \frac{dU}{dx}$.

De fapt, această dependență matematică rezultă din însăși modul de ridicare prin metode topografice a acestor curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane.

S. G. Aversin, pe baza studierii unui foarte mare număr de măsurători topografice, a stabilit că între curba înclinării și curba deplasărilor orizontale poate fi acceptată o legătură de forma

$$U(x) = B(y)T(x) \text{ de unde } U(x) = B(y)\frac{dW}{dx} \qquad (7.1)$$

unde:

$B(x)$ este funcție dependentă de adîncimea de exploatare și de caracteristicile geologice ale zăcămîntului. Se stabilește experimental pentru fiecare bazin în parte.

Ținînd seama de cele arătate mai sus, rezultă că și

$$\varepsilon(x) = B(y)\frac{dU}{dx} \text{ sau } \varepsilon(x) = B(y)\frac{d^2 W}{dx^2} \qquad (7.2)$$

De asemenea, rezultă că dacă se poate găsi o funcție matematică care să exprime deplasările verticale $W(x)$, prin derivări succesive și ținînd seama de legătura între $U(x)$ și $T(x)$ dată de *Aversin* — se pot stabili ecuațiile celorlalte curbe de deplasare și deformare a suprafeței terenului.

7.2.2. EVOLUȚIA METODELOR DE CALCUL A DEPLASĂRILOR ȘI DEFORMĂRILOR SUPRAFEȚEI TERENURILOR

După modul cum a fost rezolvată problema, teoriile și metodele matematice elaborate se pot împărți în două mari clase:

I. Teorii ce au la bază relații empirice, deduse pe baza observațiilor topografice și prin intuiții, privind modul de manifestare a fenomenului. Aceste teorii au astăzi numai o importanță istorică și de documentare.

II. Metode matematice, elaborate fie pe baza prelucrării riguros matematice a observațiilor topografice, fie că se axează pe legi de comportament a corpurilor solid deformabile. Acestea, în funcție de modul cum au rezolvat problema, pot fi clasificate în trei grupe și anume:

1) Teorii ce descriu fenomenul de mișcare a suprafeței terenurilor cu ajutorul ecuațiilor sub formă integrală și se bazează pe o exprimare geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

Conform acestor teorii, scufundarea suprafeței într-un punct determinat se calculează cu ajutorul unei integrale de suprafață, a funcției de influență, pe domeniul ce reprezintă proiecția suprafeței de strat exploatat în plan orizontal.

Ecuația generală a scufundării are forma

$$W(x) = W(S)\int \varphi(x, s)ds \qquad (7.3)$$

unde: $W(S)$ este funcția ce descrie scufundarea maximă a suprafeței terenurilor, a cărei valoare diferă de la autor la autor și de la un bazin minier la altul;

$\varphi(x, s)$ — funcția de influență, a cărei formă algebrică diferă de la un autor la altul.

Din această grupă fac parte o serie de metode matematice de calcul de prognoză elaborate în U.R.S.S., R. F. Germania, Anglia, Polonia, Ungaria, România etc.

2) Teorii ce au la bază anumite legi ale teoriei elasticității și plasticității, care stabilesc deformarea și deplasarea suprafeței terenurilor prin asa-zisele ecuații de stare ce dau legătura dintre tensiuni și deformații. Din această grupă fac parte teoriile unor cercetători sovietici, polonezi și români.

3) Metode de calcul ce au la bază legi ale mecanicii stochastice. Din această grupă face parte metodologia de calcul elaborată de cercetătorul polonez *J. Litwiniszyn*.

Dintre cele trei grupe de metode, cele din grupa întîi și a doua au o largă aplicabilitate, practică, fiind frecvent folosite în calculul de prognoză a deplasărilor și deformărilor suprafeței terenurilor în bazine miniere din diferite țări.

7.3. METODE MATEMATICO-ANALITICE DE CALCUL A PARAMETRILOR SCUFUNDĂRII

În practică apare o mare varietate de albii de scufundare. Pentru a cunoaște exact fenomenul formării albiei de scufundare și construirea modelului ei matematic, trebuie să se aibă în vedere acea albie reală care este conformă cu condițiile acceptate în teoria dată și descrie procesul de scufundare. Condițiile ce se ataș la baza rezolvării teoretice a problemei acceptate de majoritatea autorilor sînt:

— albia de scufundare a luat naștere ca efect al exploatării unui singur strat

— marginea frontului de exploatare este dreaptă și suficient de lungă.

se consideră profilul albiei de scufundare perpendicular pe frontul de exploatare,

albia de scufundare exprimată prin relații matematice este ultima formată, aceasta însemnînd că mișcarea terenului s-a terminat — fiind denumită *albie statică*, în opoziție cu *albia dinamică*, ce se creează în timpul avansării frontului de exploatare sau după oprirea lui, dacă nu a apărut integrala liniștire a terenului;

— suprafata de strat extrasă este suficient de mare pentru a lua naștere albii de scufundare critice sau supracritice,

adîncimea de exploatare este suficient de mare pentru ca scufundarea suprafeței să aibă un caracter continuu

rocile masivului să dovedească un mare grad de omogenitate și să lipsească deranjamentele tectonice.

7.3.1. STRATE ORIZONTALE ȘI CU ÎNCLINARE MICĂ

Teoria Bayer. Autorul împarte suprafața de strat exploatată în suprafețe elementare și consideră că scufundarea unui punct de la suprafață este funcție de distanța r, a suprafeței elementare exploatată față de centrul suprafeței totale exploatate (fig.

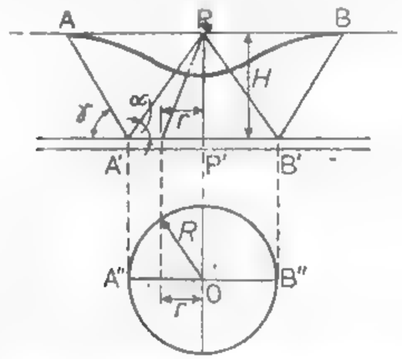


Fig. XVI.141. Schemă de calcul a scufundării verticale conform teoriei *Beyer*.

XVI.141). Scufundarea verticală produsă de acel element de suprafață se determină cu relația:

$$K_s = c\,(1 - i)^2 \quad \text{unde} \quad i = \frac{r}{R} \tag{7.4}$$

Fiecare suprafață elementară exploatată determină asupra terenului de la zi o anumită zonă de influență, a cărei suprafață se poate calcula prin integrarea relației (7.4).

$$I_s = 2\pi\, c \int_0^R \left(1 - \frac{r}{R^2}\right) r\, dr \tag{7.5}$$

După efectuarea integrării și din fig. XVI.141, notînd $R = H \operatorname{ctg} \gamma$, se obține expresia:

$$I_s = \pi H^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma \left(1 - i^2 + \frac{i^3}{3}\right) \tag{7.6}$$

în care $0 \leq i \leq 1$.

Pentru $i = 1$ și $i = 0$ se obține relația pentru calculul scufundării totale:

$$I = \frac{\pi}{3} c H^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma = W_{max} \tag{7.7}$$

de unde rezultă că

$$c = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{W_{max}}{H^2} \tag{7.8}$$

$W_{max} = a \cdot m$ este scufundarea maximă,

unde: m este grosimea stratului;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii rocilor în abataj (valorile sînt date în tabelul XVI.39).

Tabelul XVI.39

Valoarea coeficientului a din teoria Knothe-Budry funcție de metoda de dirijare a presiunii în abataj

Metoda de dirijare a presiunii rocilor în abataj	Valoarea coeficientului a
Surpare totală	0,6—0,8
Rambleiere parțială	0,5—0,6
Rambleiere totală executată cu mașini de rambleiat	0,4—0,5
Rambleiere totală pneumatică	0,25—0,30
Rambleiere hidraulică normală	0,1—0,12
Rambleiere hidraulică sub presiune	0,08—0,1
Exploatarea în camere cu rambleu hidraulic sub presiune și cimentare	0,02—0,08

Teoria King — Wardell. A fost elaborată pentru zăcămintele cu înclinare mică, grosime mică și medie, din bazinele miniere din Anglia, luîndu-se în considerare albii statice-simetrice de scufundare. Metoda de calcul face parte din grupa teoriilor geometrice.

Bazați pe numeroase măsurători topografice, autorii propun pentru curba de profil principal următoarea ecuație

$$W_x = W_n \cdot a \cdot \operatorname{tg} h \frac{b \cdot x}{H} \tag{7.9}$$

în care: W_x este scufundarea verticală într-un punct

W_n — scufundarea maximă;

a și b — constante care se determină în condițiile la limită și anume, ca în punctele de inflexiune scufundarea reprezintă jumătate din scufundarea maximă (fig. XVI.142).

Astfel:

$$W = +\frac{1}{2} W_0 \qquad (7.11)$$

pentru $x \quad : \infty$; $a \quad \frac{1}{2}$

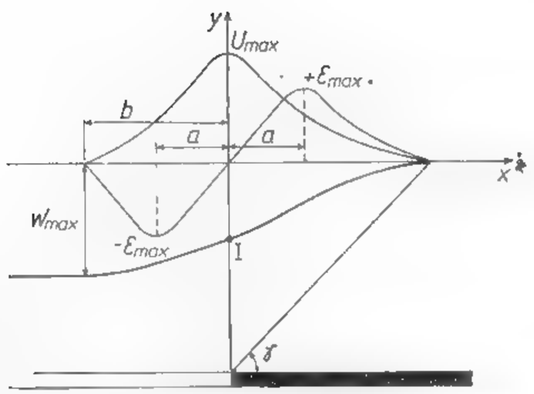


Fig. XVI.142. Calculul albiei de scufundare după *King-Wardel*.

A doua constantă se determină ținînd cont de rezultatele măsurătorilor practice, după care înclinarea este maximă în punctul de inflexiune.

Deci dacă:

$$\left(\frac{dW}{dx}\right)_{max} = \frac{b W_0}{2 H} = \frac{3W_0}{H} \qquad (7.10)$$

Ținînd cont de valoarea constantei $a = \frac{1}{2}$, atunci $b = 6$. În final ecuația care definește curba de profil principal are forma

$$W = \frac{W_0}{2} \operatorname{tg} h \frac{6x}{H} \qquad (7.11)$$

Scufundarea maximă, W_0, se calculează cu relația:

$$W_0 = a \cdot m \quad [m] \qquad (7.12)$$

în care m este grosimea stratului ce se exploatează, m;

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj (valorile vor fi date în cadrul teoriilor Knothe-Budryk).

Metoda de calcul S. G. Averșin. Are la bază interpretarea geometrică a curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor sub influența exploatării subterane, obținute din măsurătorile topografice efectuate în bazinele Moscova și Donbas. Autorul se situează cu teoria sa în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice. Albiile de scufundare

static-asimetrice sînt caracterizate prin deplasarea punctului de inflexiune a acestora spre spațiul exploatat (fig. XVI. 143). Relațiile de calcul date au la bază o exprimare geometrică a aliurii curbelor de deplasare și deformare a suprafeței terenurilor.

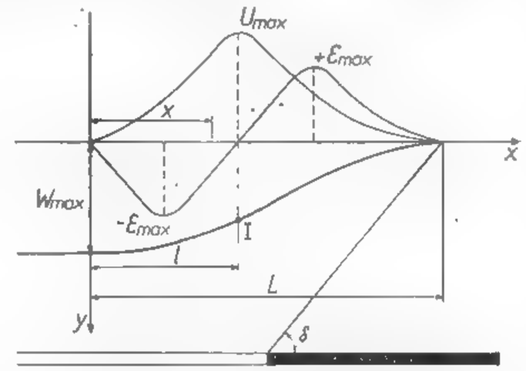


Fig. XVI.143. Profilul albiei de scufundare, după S. G. Averșin.

Pentru determinarea scufundării verticale a unui punct de la suprafața terenului se propune o relație de forma

$$W(x) = W_{max} \left(1 - \frac{v}{2,13\, l}\right)^{4,54} \exp\left(2,13 \frac{x}{l}\right) \qquad (7.13)$$

în care: l este distanța de la punctul cu deplasarea verticală maximă pînă la punctul de inflexiune al albiei de scufundare;

v — punctul de la suprafață pentru care se cere calculul deplasărilor verticale;

H — adîncimea de exploatare a stratului;

W_{max} — scufundarea verticală maximă, pentru care se recomandă folosirea relației

$$W_{max} = \frac{m \cdot a}{a + \sqrt{H}} \quad [m] \qquad (7.14)$$

în care: m este grosimea stratului care se exploatează, m;

a — coeficient care reflectă latura fizică a condițiilor de tasare, avînd valori cuprinse între 22 și 25.

Pe baza relației (7.13) și luînd în considerare dependența matematică între curbele de deplasare și deformare, se determină valoarea maximă a curbei înclinării:

$$I_{max} = 0,9 \frac{W_{max}}{l} \quad [mm/m] \qquad (7.15)$$

și va apre în punctul de inflexiune al albiei de scufundare.

Valoarea maximă a curbei curburii albiei de scufundare se calculează cu relația

$$K_{max} = 1,39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [km^{-1}] \qquad (7.16)$$

și aceasta apare la distanța $1,5\, l$ de la mijlocul albiei de scufundare.

După *Averşin*, pentru strate orizontale şi cu înclinare mică, între curba înclinării şi curba deplasărilor orizontale există o dependenţă dată de relaţia (7.1). Deplasările orizontale maxime se pot atunci calcula cu relaţia:

$$U_{max} = B(y)\, T_{max} = B(y)\, 0{,}9 \frac{W_{max}}{l} \quad [\text{mm}] \tag{7.17}$$

Ţinînd seama de relaţia (7.2), deformaţiile specifice orizontale maxime (de compresiune şi tracţiune) se determină cu relaţia

$$\varepsilon_{max} = B(y)\, 1{,}39 \frac{W_{max}}{l^2} \quad [\text{mm/m}] \tag{7.18}$$

în care $B(y)$ este o funcţie dependentă de adîncimea de exploatare şi reprezintă un parametru care exprimă distanţa de la suprafaţă pînă la punctul din interiorul masivului de roci care nu suferă deformări, mai precis grosimea pachetului de roci din masiv de la suprafaţă spre interior, care se deforează fără desprinderea după planele de stratificaţie.

Pentru condiţiile de zăcămînt din bazinele miniere Moscova şi Donbas, valoarea lui $B(y)$ este cuprinsă între 10—20 m şi este funcţie de adîncimea de exploatare.

Pentru alte condiţii de exploatare, $B(y)$ poate fi calculat cu relaţia:

$$B(y) = \frac{\dfrac{dU}{dt}}{\dfrac{d^2 W}{dx \cdot dt}} \tag{7.19}$$

în care: $\dfrac{dU}{dt}$ este viteza de variaţie a deplasărilor orizontale,

$\dfrac{d^2 W}{dx \cdot dt}$ — viteza de variaţie a înclinării albiei de scufundare.

Pentru strate orizontale şi cu înclinare mică *Averşin* stabileşte o relaţie de legătură între distanţa l şi L, semilungimea albiei de scufundare (fig. XVI. 143

$$L = 2{,}13\, l \tag{7.20}$$

Valoarea parametrului l poate fi calculată cu relaţia generalizată

$$l = \frac{W_{max}}{m} \cdot x \quad [\text{m}] \tag{7.21}$$

sau cu relaţia:

$$l = 0{,}7H \quad [\text{m}] \tag{7.22}$$

Teoria lui Martos. Pe baza numeroaselor măsurători topografice efectuate în bazinele miniere din Ungaria şi a experienţelor pe modele din materiale echivalente, *Martos* ajunge la concluzia că se situează în cazul albiilor de scufundare static-asimetrice

(fig. XVI. 144). În cazul stratelor orizontale şi de înclinare mică, curba de profil principal a albiei de scufundare se poate exprima în mod satisfăcător, pentru nevoile practice, prin curba de probabilitate *Gauss* de forma:

$$W(x) = W_0 \cdot e^{-ax^2} \tag{7.23}$$

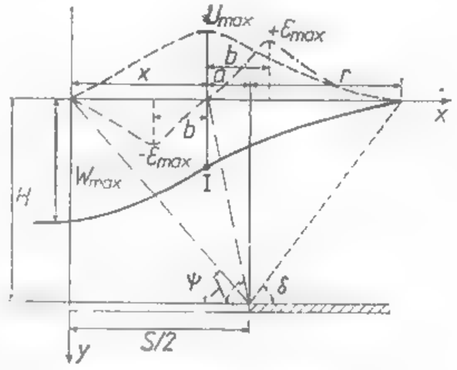


Fig. XVI.144. Profilul albiei de scufundare şi calculul parametrilor după *Martos*.

Exponentul a se determină din condiţia că punctul de inflexiune al albiei de scufundare să se afle în punctul $x = \pm i$, adică:

$$\left(\frac{d^2 W}{dx^2}\right)_x = \pm\, 2aW_0\, e^{-ax^2}(1 - 2ax^2) \tag{7.24}$$

Punînd condiţia ca relaţia (7.24) să fie egală cu zero, se obţine:

$$a = \frac{1}{2i^2} \tag{7.25}$$

În acest caz relaţia (7.23) are forma finală

$$W = W_0 \exp.\left(-\frac{x^2}{2i^2}\right) \tag{7.26}$$

Scufundarea maximă W_0, propune autorul, să fie determinată prin relaţia (7.14) dată de Averşin.

Din relaţia (7.26), pe baza dependenţelor între curbele de deplasare şi deformare a suprafeţei terenurilor şi a relaţiilor (7.1 şi 7.2) pot fi stabiliţi şi ceilalţi parametri ai scufundării.

Teoria Knothe-Budryk. Este prima teorie care a încercat să lege fenomenul de scufundare-tasare a terenurilor sub influenţa exploatării subterane, de deplasarea şi deformarea întregului masiv de roci în mişcarea sa spre spaţiul exploatat. Pentru prima dată se reuşeşte să se dea o legătură între mişcarea suprafeţei terenului şi fenomenul de manifestare a presiunii minierului. Rezolvarea problemei influenţei exploatării subterane asupra suprafeţei de la zi în concepţia lui *Knothe* are la bază *curba de influenţă* (fig. XVI. 145).

Se consideră ca punctul A, situat la suprafaţa terenului, este supus mişcării datorită exploatării unui strat pe o suprafaţă S, de grosime m şi care se află la adîncimea H.

Împărțind suprafața exploatată S, în suprafețe elementare ΔS, acestea vor produce asupra punctului A o scufundare, a cărui componentă verticală W_i va fi dată de o funcție oarecare:

$$\Delta W_i = \Delta S_i \, g(x_i, y_i) \tag{7.27}$$

unde: $g(x, y)$ este o anumită funcție ce descrie mișcarea punctului A spre spațiul exploatat;
x_i, y_i sînt coordonatele punctului în sistemul de axe acceptate.

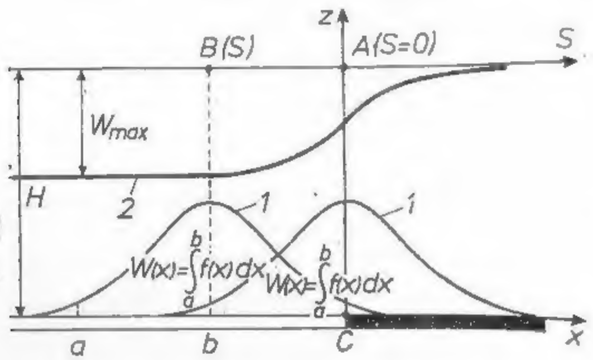


Fig. XVI.145. Curba albiei de scufundare, ca rezultat al curbei de influență, după *Knothe-Budryk*:
1 — curba de influență; 2 — albia de scufundare.

Pe baza legii superpoziției, scufundarea totală a punctului A, din momentul $t=0$ și pînă la timpul t', adică pînă în momentul extragerii succesive a suprafețelor elementare S_i pe întreaga suprafață S este dată de:

$$\sum_{i=1}^{n} g(x_i, y_i) \, S_i \tag{7.28}$$

Cînd suprafețele elementare S tind către zero, scufundarea totală va fi:

$$W_{max} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \, dx \cdot dy \tag{7.29}$$

Tratînd în continuare problema în plan și orientînd abatajul cu lungimea sa infinită, paralelă cu axa y (fig. XVI. 145), analog cu funcția $g(x,y)$ trebuie să existe o funcție $f(x)$ care să descrie mișcarea punctului A.

Funcția $f(x)$ trebuie să aibă o astfel de proprietate, încît punctul A de pe suprafața terenului să fie supus unei influențe cu atît mai mari, cu cît abatajul se apropie mai mult de proiecția orizontală a punctului A, după care influența spațiului exploatat scade. Dacă abatajul avansează din punctul a în punctul b (fig. XVI. 145), scufundarea punctului va fi:

$$W_i = -\int_a^b f(x) \, dx \tag{7.30}$$

Funcția $f(x)$ a fost denumită *funcția de influență principală* ce descrie mișcarea unui punct din masivul de roci (implicit de la suprafața terenului) spre spațiul exploatat.

Stratul de cărbune exploatîndu-se pe o suprafață foarte mare în limitele $+\infty$, $-\infty$, scufundarea verticală maximă a punctului A poate fi dată de relația:

$$W_{max} = -\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \, dx \tag{7.31}$$

Dependența dintre curba de influență și profilul albiei de scufundare. Se consideră că frontul de exploatare a unui strat la adîncimea H se deplasează de la $-\infty$ pînă la o anumită limită, unde se acceptă originea axelor de coordonate (fig. XVI. 145). Abscisa unui punct în sistemul de coordonate adoptat se notează la suprafață prin S, iar în planul stratului prin x. Mișcarea unui punct oarecare B, de coordonată S, de la suprafața terenului, este descrisă de funcția de influență $f(x-s)$, ce prezintă o axă de simetrie în punctul $x=s$. Această curbă se obține prin deplasarea succesivă a curbei descrisă de ecuația $f(x)$, ce corespunde punctului $A(s=0)$ situat deasupra marginii frontului de abataj (7.14). Scufundarea totală a unui punct oarecare de la suprafață, ca efect al exploatării unui strat în limitele de la $x=-\infty$ la $x=0$, conform relației (7.29) va fi:

$$W_k(s) = -\int_{-\infty}^{0} f(x-s) \, dx \tag{7.32}$$

După cum se vede din figură,

$$W_k(s) = -\int_{-s}^{\infty} f(x) \, dx \tag{7.33}$$

Ultima relație exprimă legătura dintre *curba de influență* și mișcarea unui punct de la suprafață situat deasupra marginii frontului de abataj, avînd coordonatele $s=0$.

Ecuația profilului albiei de scufundare va avea în acest caz următoarea formă:

$$F(x) = H - \int_{x}^{\infty} f(\lambda) \, d\lambda \tag{7.34}$$

Raportînd ecuația profilului albiei de scufundare la sistemul de axe O, x, în planul stratului putem scrie:

$$F(x) = -\int_{x}^{\infty} f(\lambda) \, d\lambda \tag{7.35}$$

Integrînd expresia (7.35) se obține:

$$F(x) = -f(x) \tag{7.36}$$

De unde rezultă:

„Curba de influență corespunde punctului situat deasupra marginii frontului de exploatare și reprezintă derivata ecuației albiei de scufundare, ultima formată, denumită *albie de scufundare statică simetrică*"[1].

Avînd la bază suportul teoretic prezentat, și pe baza analizei unei multitudini de profile ale albiei de scufundare obținute din măsurători topografice în bazinul Sileziei, autorii au ajuns la concluzia că linia profilului albiei de scufundare poate fi descrisă de ecuația integrală a funcției de probabilitate *Gauss*, de forma:

$$f(x) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-h^2 \cdot x^2) \tag{7.37}$$

Ecuația (7.35) permite în continuare să se analizeze profilul albiei de scufundare static-simetrică. Înlocuind curba de influență printr-un triunghi, se observă că suprafața acestuia este egală cu scufundarea maximă W_{max}, iar înălțimea are valoarea maximului curbei de influență (fig. XVI. 146).

$$f(0) = W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \tag{6.37}$$

Această înlocuire a curbei de influență, cu un triunghi, limitează mișcarea suprafeței terenului pînă la o anumită distanță r, egală cu jumătatea bazei triunghiului.

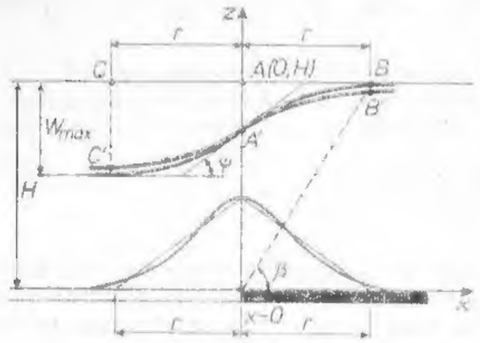


Fig. XVI.146. Linia profilului albiei de scufundare dedusă pe baza triunghiului de influență.

În această situație, punctul B situat la dreapta marginii frontului de abataj va avea scufundarea verticală nulă, iar punctul C, simetric situat la stînga, va avea scufundarea verticală egală cu W_{max} (fig. XVI. 146). Scufundarea verticală a unui punct în intervalul C, B se calculează cu relația:

$$W_k = -\int_x^{\infty} W_{max} \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 x^2} \, dx \tag{7.39}$$

1) Pentru prima dată în literatura de specialitate, prin metodologia de rezolvare dată, *Knothe* a introdus noțiunea de *albie de scufundare statică-simetrică*. Albia de scufundare statică-simetrică este acea albie în care cele două ramuri în raport cu marginea frontului de abataj au o dezvoltare egală, iar scufundarea în punctul de inflexiune reprezintă jumătate din scufundarea maximă. De la introducerea acestor noțiuni se consideră începutul rezolvărilor riguros matematice a problemei de scufundare a terenului supus influenței exploatării subterane, date de diferiți autori.

Valoarea parametrului h se determină din condiția că suprafața triunghiului de influență este egală cu scufundarea verticală, W_{max}.

Ținînd seama de relația (7.37), suprafața triunghiului de influență va fi:

$$\frac{1}{2} 2 r \cdot W_{max} \cdot \frac{h}{\sqrt{\pi}} = W_{max} \tag{7.40}$$

de unde:

$$r = \frac{\sqrt{\pi}}{h} \text{ și } h = \frac{\sqrt{\pi}}{r} \tag{7.41}$$

Introducînd în relația (7.37) valoarea parametrilor h, ecuația curbei albiei de scufundare devine:

$$f(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi}{r^2} x^2\right) \tag{7.42}$$

unde: r este denumit *parametrul razei principale de influență a deplasării și deformării suprafeței* și se calculează cu relația:

$$r = \frac{H}{\operatorname{tg} \beta_s}, \quad r = \frac{H}{\operatorname{tg} \gamma_s} \text{ sau } r = \frac{H}{\operatorname{tg} \delta_s} \tag{7.43}$$

în care β_s, γ_s δ_s sînt valorile unghiurilor de scufundare[1].

Pe baza celor de mai sus se poate scrie în final ecuația finală a curbei albiei de scufundare rezultată ca efect al exploatării unui strat în limitele de la $x = -\infty$ la $x = 0$ în forma:

$$F(x) = -\frac{W_{max}}{r} \int_x^{\infty} e^{-\frac{\pi}{r^2} \lambda^2} \, d\lambda \tag{7.44}$$

Relații de calcul a parametrilor scufundării conform teoriei Knothe – Budryk. Avînd la bază suportul teoretic prezentat, ecuația albiei de scufundare dată de relația (7.44) și dependența matematică ce există între curbele de deplasare și deformare a suprafeței terenului, autorii au stabilit relații de calcul a parametrilor scufundării, pentru un punct, x aflat la suprafața terenului.

– scufundarea verticală într-un punct oarecare, $W(x)$:

$$W(x) = \frac{W_{max}}{r} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) dx \tag{7.45}$$

1) Pentru bazinul Sileziei inferioare din Polonia se consideră că unghiurile de scufundare, transversale pe zăcămînt și după direcția zăcămîntului, sînt egale, adică $\beta_s = \gamma_s = \delta_s$.

— înclinarea curbei scufundării verticale,

$$T(x) = \frac{W_{max}}{r} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.46)$$

— curbura albiei de scufundare

$$K(x) = -\frac{2\pi W_{max}}{r^3} x \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.47)$$

— curba deplasărilor orizontale;

$$U(x) = 0{,}4 \; W_{max} \cdot \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.48)$$

— curba deformațiilor specifice orizontale,

$$\varepsilon(x) = \frac{2\pi}{r^2} U_{max} \exp\left(-\frac{\pi x^2}{r^2}\right) \qquad (7.49)$$

Tabelul XVI.40

Valorile integralei și funcției exponențiale din teoria Knothe—Budryk

x	$\frac{1}{r}\int_x^{\infty} e^{-\frac{x^2}{r^2}} dx$	$e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}}$
$-1{,}0\ r$	0,9939	0,0432
$-0{,}8\ r$	0,9775	0,1340
$-0{,}6\ r$	0,9337	0,3230
$-0{,}4\ r$	0,8420	0,6065
$-0{,}2\ r$	0,6920	0,8869
± 0	0,5000	1,00
$0{,}2\ r$	0,3081	0,8869
$0{,}4\ r$	0,1581	0,6065
$0{,}6\ r$	0,0664	0,3230
$0{,}8\ r$	0,0225	0,1340
$1{,}0\ r$	0,0061	0,0432

Valoarea maximă a acestor parametrii, conform relațiilor (7.45), (7.49) și ținînd seama de relația (7.37), poate fi dedusă din expresiile:

— scufundarea maximă

$$W_{max} = a \cdot m \quad [\text{mm sau m}] \qquad (7.50)$$

— înclinarea maximă,

$$T_{max} = \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \qquad (7.51)$$

— deplasarea orizontală maximă

$$U_{max} = 0{,}4 \; W_{max} \quad [\text{mm}] \qquad (7.52)$$

— deformarea orizontală maximă

$$\varepsilon_{max} = \pm 0{,}6 \frac{W_{max}}{H} \operatorname{tg} \beta \quad [\text{mm/m}] \qquad (7.53)$$

— curbura maximă a albiei de scufundare

$$K_{max} = \pm 1{,}53 \frac{W_{max}}{H^2} \operatorname{tg}^2 \beta \qquad (7.54)$$

în care: m este grosimea stratului ce se exploatează,

a — coeficient funcție de sistemul de dirijare a presiunii în abataj, a cărui valorile din tabelul XVI. 39.

Dacă se impune să se calculeze scufundarea unui punct carecare, x, supus influenței exploatării subterane, pentru ușurința calculelor, în tabelul XVI. 40 sînt prezentate valorile integralei și funcției exponențiale ce însoțesc parametrii dați de relațiile (7.50) și (7.54).

În domeniul industriei extractive

AU MAI APĂRUT ÎN LIBRĂRII :

1. LUCIA TOCACI, M. GURAN, LIDIA MIHĂILESCU, P. ILIE, N. GOLCEA
Mineralurgie, vol. I

2. S. TAT, M. ZAPOROJAN, K. FISSGUS
Explozivi și tehnica împușcării în industrie

3. A. SIMIONESCU, I. DIJMĂRESCU
Organizarea și conducerea activităților miniere

4. I. MARIAN
Mecanizarea transportului minier în subteran

5. L. PAVELESCU, I. ENE
Mineralogia și geologia substanțelor radioactive

6. I. BERBELEAC
Zăcăminte de aur

— VOR APĂREA —

1. GH. DINCA, R. CATILINA, T. BURTIC
Protecția împotriva radiațiilor nucleare la cercetarea, extracția și prelucrarea substanțelor minerale utile

2. V. ȘERBAN, GUȚ T.
Bismutul, arseniul și stibiul

3. D. FODOR, R. SCHWEIGHOFER
Valorificarea complexă a rocilor ornamentale

4. A. TODORESCU
Reologia rocilor cu aplicații în minerit

5. E. HUIDU, I. JESCU
Cartea minerului de la exploatări la zi

6. M. GEORGESCU
Optimizarea metodelor de exploatare a zăcămintelor de minereuri

7. S. PAULIUC, C. DINU
Geologie structurală

8. O. CLICHICI, SL. STOICI
Cercetarea geologică a substanțelor minerale utile solide
Îndrumător practic

9. D. GIUȘCĂ
Mineralogie structurală

10. M. MURGU
Evaluarea geologică și industrială a zăcămintelor minerale

11. I. PETRESCU (coordonator)
Geologia zăcămintelor de cărbuni, vol. I

12. V. BRANA, C. AVRAMESCU, I. CĂLUGĂRU
Substanțe minerale nemetalifere

13. A. POPA (coordonator)
Manualul inginerului de mine, vol. III

Din cuprinsul

MANUALULUI INGINERULUI DE MINE, Vol. III

Procedee de extragere ; Explozivi minieri ; Săparea și susținerea lucrărilor miniere ; Exploatarea zăcămintelor prin lucrări miniere la zi.

Universitatea Al. I. Cuza Iași
Biblioteca de Geologie-Geografie
Cota veche: ocr Col. Iași
Prețul: 72,00